

Universidad de Granada

**Facultad de Ciencias
Departamento de Química Analítica**

Tesis Doctoral

Programa de Doctorado:
"Investigación en la Creación Artística: Teoría, Técnica y Restauración"



**Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de
Elementos Constructivos de Tierra**

Gilson Fernandes Vieira

Granada
2015

Editor: Universidad de Granada. Tesis doctorales.

Autor: Gilson Fernandes Vieira

ISBN: 978-84-9125-571-0

URI: <http://hdl.handle.net/10481/42882>

Prof^a/Dr^a Maria del Rosario Blanc García. Doctora en Química. Profesora Titular del Departamento de Química Analítica. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Miembro del Grupo de Investigación QUIMICA ANALITICA Y CIENCIAS DE LA VIDA de la Universidad de Granada.

Prof^a/Dr^a Margarida Genera i Monells. Doctora en Filosofía y Letras (Departamento de Arqueología, Epigrafía y Numismática de la Universidad de Barcelona), D.E.A. en Geología del Cuaternario y Prehistoria (Facultad de Ciencias de la Universidad de Bordeaux I), Diplomada en Arqueología Hispánica (Universidad de Barcelona) y Graduada en Artes Aplicadas, especialidad cerámica (Escuela Massana, Barcelona).

Certifican

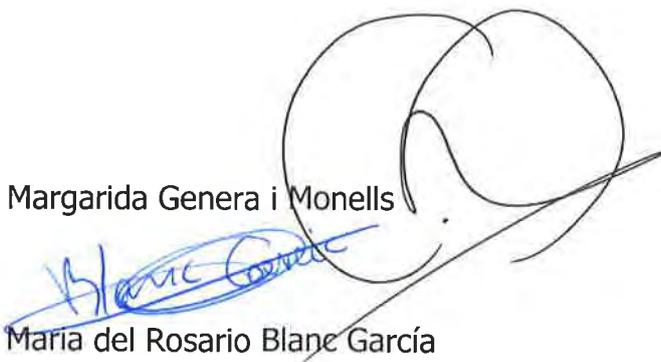
Que el trabajo titulado "Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra", ha sido realizado por Licenciado Gilson Fernandes Vieira bajo nuestra dirección para la obtención del Grado de Doctor, y considerando que se haya concluido y reúne todos los requisitos legales, académicos y científicos, autorizamos su presentación para que pueda ser juzgado por el Tribunal correspondiente.

Y para que así conste, expido y firmo el presente certificado.

Granada a 11 de noviembre de 2015

Prof^a/Dr^a Margarida Genera i Monells

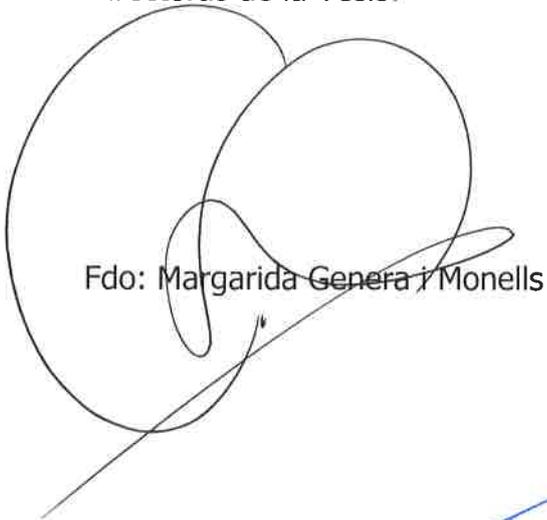
Prof^a/Dr^a Maria del Rosario Blanc García



El doctorando Gilson Fernandes Vieira y las directoras Dr^a Margarida Genera i Monells y Dr^a Maria del Rosario Blanc García garantizamos, al firmar esta Tesis Doctoral, que el trabajo ha sido realizado por el doctorando bajo la dirección de las directoras de la tesis y hasta donde nuestro conocimiento alcanza, en la realización del trabajo, se han respetado los derechos de otros autores a ser citados, cuando se han utilizado sus resultados o publicaciones.

Granada a 11 de noviembre de 2015.

Directoras de la Tesis:



Fdo: Margarida Genera i Monells

Doctorando:



Fdo: Gilson Fernandes Vieira



Fdo: Maria del Rosario Blanc García

Eu sempre me sinto feliz, sabe por quê? Porque eu não espero nada de ninguém, expectativas sempre machucam... a vida é curta, então ame a sua vida, seja feliz e mantenha sempre um sorriso no rosto. Viva a vida para você e antes de falar, escute. Antes de escrever, pense. Antes de gastar, ganhe. Antes de orar, perdoe. Antes de magoar, sinta. Antes de odiar, ame. Antes de desistir, tente. Antes de morrer. Viva!!

Shakespeare

*A mis padres Alpheu y Hilda,
y al viejo abuelo Zefirino*

Agradecimientos

Durante los años de investigación vamos entendiendo el grado de importancia de los agradecimientos en una tesis doctoral. Son muchas personas e instituciones que agradecer y el acto de reconocer esto en palabras es el mínimo que podemos hacer. Quiero aquí, expresar mi gratitud por el esfuerzo, apoyo, confianza y dedicación de estas personas.

Antes de todo, doy las gracias a Dios, por rellenar mi corazón de fuerza e iluminar mi mente constantemente y por conducirme hasta personas que se transformaron en soporte y compañía durante los inúmeros periodos de estudio.

Quiero agradecer hoy y siempre a Luciene y a toda mi familia, Tania, Alexandre, Gisa, **Carla ...**, que son responsables por mi bienestar físico y emocional mismo estando muy lejos de mi amado Brasil.

Mi gustaría dar las gracias a Dr^a Margarida Genera i Monells y Dr^a Maria del Rosario Blanc García, directoras de esta tesis, por sus orientaciones rigurosas y serias, ayudas y palabras de ánimo que sirvieron de modo positivo para el desarrollo de esta tesis y también para mi formación como investigador.

Mis sinceros agradecimientos a Dr^a Eloisa Manzano Moreno por su importante aporte y participación en el desarrollo de esta tesis, su disponibilidad y paciencia a todas las horas necesarias, que redundaron de manera benéfica para el aumento del nivel científico de mis estudios.

Debo agradecer de manera especial al Departamento de Química Analítica de la Facultad de Ciencias, en la persona de Dr. Alberto Navalón Montón, por su acogida y apoyo durante mi labor investigadora.

No puedo olvidar el apoyo del Dr. José Luis Vilchéz Quero, Grupo de Investigación FQM-338 Química Analítica y Ciencias de la Vida, que fue más que un amigo en los momentos difíciles. Y también a Samuel Cantarero por su ayuda en el análisis de cromatografía de gases y espectrometría de masas.

Agradezco también a Dr^a M^a Carmen Valencia Mirón, por las palabras de ánimo y fuerza que tanto me han ayudado.

Quiero agradecer al Dr. Alberto López Galindo, director del Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, por su atención y generosidad en todas las horas que las he necesitado. La gratitud se extiende también a los técnicos y amigos Juan Santamaría, difracción de rayos X, y Luisa González, fluorescencia de rayos X, que compartieron sus experiencias profesionales conmigo.

A Dr^a Esther Viseras Alarcón por su sensibilidad y apoyo en detalles que solamente los verdaderos amigos perciben.

Un sincero agradecimiento al Dr. José Rodríguez Montero, Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería, por su disponibilidad, generosidad y cariño en compartir su experiencia y amplio conocimiento. Quiero extender este agradecimiento a mis amigos Rosa, Lázaro, Marivi, Javi, Carlos, Esther y Dionisio por las palabras de ánimo e estímulo.

Quiero agradecer al Dr. Andrés M^a Adroher Auroux, Departamento de Prehistoria, Dr. Alejandro Caballero y Dr. José Luis López Castro, Universidad de Almería, por facilitaren las muestras de Baza y de Almería y por sus orientaciones.

Muchas gracias también al Dr. Francisco Lamas Fernández y Dr. Manuel Salinas Bolea, Departamento de Ingeniería Civil, por permitir la utilización de su laboratorio para algunos ensayos.

Doy las gracias a Dr^a Emilse Gómez Torres, Universidad Nacional de Colombia, por su paciencia y cariño en compartir sus conocimientos de estadística conmigo.

Mis agradecimientos a la colaboración del Dr. Fábio L. Melquiades, Grupo de Física Nuclear Aplicada do Departamento de Física da Universidade Estadual de Londrina - Brasil, que con su atención y paciencia ha compartido sus conocimientos para interpretación y análisis estadística de los resultados de fluorescencia de rayos X.

No menos importante son los agradecimientos a los amigos que soportan un doctorando a todas las horas. A Beth y Eveny por la primera acogida y cariño, a Carmen Rivero y a los amigos de la Azotea de Tulipán por las veladas culturales, la Coral Polifónica de Ciencias por los viajes y encantos musicales que llevaban a tranquilidad y paz a todos los momentos, a Antonio José Mota Ávila por su amistad y apoyo.

Muchas gracias a Alberto, Marga y Juan, por ser mi familia en España y que seguramente no olvidaré por toda mi vida.

A Noelia mi hermana guapa que siempre está dispuesta a una ayuda sea para lo que sea.

A mis amigos hermanos,

Raul por su ayuda constante.

Fernando Perin, **que tiene "culpa" por todo mi esfuerzo académico.**

Julio por su cariño y ayuda en revisar con detalles cada tema de mis estudios.

A todos ustedes, mi eterno reconocimiento y gratitud.

Índice



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICES DE FIGURAS	iv
ÍNDICES DE TABLAS Y GRÁFICOS	xii
RESUMEN	xxii
RESUMO	xxiii
SUMMARY	xxiv
ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	xxvi
INTRODUCCIÓN.....	32
1. ARQUEOMETRÍA.....	36
1.1. Desarrollo histórico	36
1.2. Aplicaciones en los materiales constructivos	43
1.3. Algunas consideraciones sobre arqueometría.....	46
2. LA TIERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	51
2.1. Antecedentes históricos	51
2.2. Península Ibérica.....	64
2.3. Estudio del adobe	71
2.3.1. Introducción	71
2.3.2. Qué son adobes.....	71
2.3.3. La técnica de fabricación.....	78
2.4. Estudio del mortero.....	86
2.4.1. Introducción	86
2.4.2. Qué son los morteros	86
2.4.3. Tipología	94
2.4.4. El mortero histórico.....	96
2.4.5. Composición	97
2.4.5.1. Conglomerantes o ligantes	97
2.4.5.2. Áridos o cargas.....	100
2.4.5.3. Aditivos o adiciones	102
2.4.5.4. Disolventes o diluentes.....	103
2.4.5.5. Dosificaciones	103
2.4.6. Importancia del estudio de los morteros históricos.....	104
3. MATERIALES	107
3.1. Introducción	107

3.2.	El área de estudio	108
3.3.	Los yacimientos y sus contextos	110
3.3.1.	Nordeste de la Península Ibérica.....	110
3.3.2.	Sur de la Península Ibérica.....	127
3.4.	Metodología experimental.....	133
3.4.1.	Introducción	133
3.4.2.	Consideraciones previas.....	134
3.4.3.	Toma y selección de muestras.....	134
3.4.4.	Medida del color.....	135
3.4.5.	Captación de imágenes y microscopia óptica	136
3.4.6.	Caracterización textural	137
3.4.6.1.	Una visión sobre textura.....	137
3.4.6.2.	La porosidad	140
3.4.7.	Tratamientos de imágenes	143
3.4.7.1.	Photoblend.....	143
3.4.7.2.	ImagenJ	148
3.4.7.3.	Photoshop Cs5	151
3.4.8.	Técnicas instrumentales de análisis.....	153
3.4.8.1.	Difracción de Rayos X (XRD).....	153
3.4.8.1.1.	Preparación y tratamiento de las muestras	153
3.4.8.2.	Granulometría	155
3.4.8.2.1.	Granulometría por tamizado.....	156
3.4.8.2.2.	Preparación de muestras y ejecución del ensayo.....	156
3.4.8.3.	Límites de Atterberg	158
3.4.8.3.1.	Límite líquido	158
3.4.8.3.2.	Límite plástico.....	160
3.4.8.3.3.	Índice plástico.....	160
3.4.8.3.4.	Clasificación mediante la Carta de Casagrande.....	161
3.4.8.4.	Fluorescencia de Rayos X(XRF)	163
3.4.8.4.1.	Preparación y tratamiento de las muestras	163
3.4.8.4.2.	Quimiometria	166
3.4.8.4.3.	Hidraulicidad.....	169
3.4.8.5.	Cromatografía de Gases (CG) acoplada a Espectrometría de Masas (MS)	171
3.4.8.5.1.	Instrumentación.....	173

3.4.8.6.	Base de datos	175
4.	RESULTADOS.....	178
4.1.	Puig Roig del Roget.....	179
4.2.	Turó del Calvari	216
4.3.	Tossal del Moro	235
4.4.	Els Castellons de Flix	253
4.5.	Sant Miquel de Vinebre.....	262
4.6.	Costa dels Capellans.....	271
4.7.	Villa de Barrugat	286
4.8.	Villaricos.....	309
4.9.	Cerro del Santuario	355
4.10.	Cerro Cepero	367
5.	DISCUSIÓN	378
5.1.	Estudio comparativo entre yacimientos	378
5.2.	Estudio comparativo de características y clasificación	409
5.2.1.	Sobre adobes.....	409
5.2.2.	Sobre morteros	413
6.	ANÁLISIS DE LOS ADITIVOS ORGÁNICOS	425
6.1.	Objetivo	425
6.2.	Aplicación de las Técnicas Analíticas actuales en el estudio de los residuos orgánicos en material de construcción de tierra cruda	425
6.3.	Metodología de análisis de los aditivos orgánicos	430
6.3.1.	Toma de muestra.....	430
6.3.2.	Extracción de aditivos orgánicos	432
6.3.3.	Derivatización de los lípidos	432
6.3.3.1.	Metilsilil derivados.....	433
6.3.3.2.	Metilésteres derivados.....	436
6.4.	Cromatogramas y espectros de masas	438
6.5.	Resultados	439
6.6.	Discusión.....	458
7.	CONCLUSIONES	461
8.	GLOSARIO	468
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	478
10.	ANEXOS.....	523

ÍNDICES DE FIGURAS

Figura 01 - Tipologías constructivas en tierra en función de su uso estructural	xxvii
Figura 2.1 - Mapa de Distribución Mundial de las Construcciones en Tierra.....	52
Figura 2.2 - Ciudad de Çatal Hüyük.....	53
Figura 2.3 - Catal Hüyük (Baños y Habitación)	53
Figura 2.4 - Capadoccia (ciudad baja)	54
Figura 2.5 - Ciudades Troglodíticas de la Capadocia	54
Figura 2.6 - Ciudad amurallada de Shibam	55
Figura 2.7 - Vista panorámica de la ciudad de Shibam.....	55
Figura 2.8 - Ciudad de Arg é Bam.....	56
Figura 2.9 - Panorámica de la ciudad de Arg é Bam	56
Figura 2.10 - Gran Mezquita de Djenne	57
Figura 2.11 - Vista de construcciones de Ghana (Tata)	58
Figura 2.12 - Vista aérea de un Tata – Mali	58
Figura 2.13 - <i>Qsar</i> o <i>qasba</i> en Marruecos	59
Figura 2.14 - Detalles de un Qsar	59
Figura 2.15 - Construcción de tierra escavada en Matmata, Túnez.....	60
Figura 2.16 - Pirámide del sol – México	62
Figura 2.17 - Casa de tapial en São Paulo - Brasil. Antigüedad de 250 años	63
Figura 2.18 - Construcciones coloniales en adobe - Ciudad de Ouro Preto	63
Figura 2.19 – Distribución espacial de construcción en tierra en la Península Ibérica	65
Figura 2.20 - Dolmen de la Velilla	65
Figura 2.21 – Yacimiento Cerro de la Virgen de Orce.....	66
Figura 2.22- Yacimiento Cerro de la Encantada.....	66
Figura 2.23 - Ruinas de Jiaohe (Xinjiang, China)	72
Figura 2.24 - Producción de adobes en Ait Benhaddou	73
Figura 2.25 - Fabrica de adobes en Sheikh Zayed – Gaza	73
Figura 2.26 - Torres del Silencio	74
Figura 2.27 - Vista de una vivienda en el pueblo de Rasm Hamd.....	76
Figura 2.28 - Construyendo con adobes	77
Figura 2.29 - Adobes históricos de Brasil	78
Figura 2.30 - Fabricación de adobes	79
Figura 2.31 – Tipos de adoberas.....	80

Figura 2.32 - Secado de adobes	81
Figura 2.33 - Almacenaje de adobe.....	81
Figura 2.34 - Prueba de deformaciones de adobes	82
Figura 2.35 - Prueba de resistencia de adobes	82
Figura 2.36 - El adobe reforzado contra sismos.....	83
Figura 2.37 - Dimensiones del adobe	84
Figura 2.38 - Dimensiones finales de estructuras de adobes.....	84
Figura 2.39 - Tecnología de fabricación del mortero en época neolítica	87
Figura 2.40 – Elaboración del mortero en época neolítica en Europa Central y Septentrional	88
Figura 2.41 – Composición y tecnología de fabricación del mortero para unión de piedras en época egipcia.....	88
Figura 2.42 – Composición y tecnología de fabricación del mortero de acabado en época egipcia.....	89
Figura 2.43 – Composición y tecnología de fabricación del mortero de decoración en época egipcia.....	89
Figura 2.44 - Técnica de fabricación de los morteros griegos	90
Figura 2.45 - Técnica de fabricación de morteros romanos	91
Figura 2.46 - Tecnología de fabricación de los morteros medievales	92
Figura 2.47 - Evolución de los morteros romanos a los modernos.....	94
Figura 2.48 - Componentes de los morteros compuestos	97
Figura 3.1 - Mapas del área de estudio (Nordeste y Sur de la Península Ibérica)	109
Figura 3.2 - Yacimientos por ubicación geográfica.....	109
Figura 3.3 – Yacimientos del nordeste.....	110
Figura 3.4 – Situación geológica de la Hoja de Mora de Ebro	112
Figura 3.5 – Plano del emplazamiento del solar de la Costa dels Capellans núm. 5 – red urbana de Tortosa	121
Figura 3.6 - Situación geológica de Perelló	125
Figura 3.7 - Yacimientos del sur	127
Figura 3.8 – Espectrómetro Minolta CM700.....	136
Figura 3.9 – Captación de imagen	137
Figura 3.10 – Imagen captada por lupa electrónica	138
Figura 3.11 – Grados de homogeneización del tamaño de grano en areniscas y conglomerantes.....	139
Figura 3.12 – Estimación del tamaño y abundancia de los poros.....	140

Figura 3.13 - Imagen insertada – Conglomerados	143
Figura 3.14 - Imagen insertada – Poros	144
Figura 3.15 – Selección de herramienta – Conglomerado.....	144
Figura 3.16 – Selección de herramienta – Poros.....	145
Figura 3.17 – Elementos señalados – Conglomerados.....	145
Figura 3.18 – Elementos señalados – Poros.....	146
Figura 3.19 – Conglomerados.....	146
Figura 3.20 – Poros.....	147
Figura 3.21 – Imagen generada – Conglomerado.....	147
Figura 3.22 – Imagen generada – Poros.....	148
Figura 3.23 – 1ª etapa – Áridos de menor tamaño	149
Figura 3.24 – Análisis de partículas.....	149
Figura 3.25 – Ajuste de escala.....	150
Figura 3.26 – Selección y medición de estructuras	150
Figura 3.27 – Cambio de color – etapa 1	151
Figura 3.28 – Cambio de color – etapa 2	152
Figura 3.29 – Superposición de imágenes – etapa 1	152
Figura 3.30 – Superposición de imágenes – etapa 2	153
Figura 3.31 - Secuencia de preparación y análisis de muestras para DRX	154
Figura 3.32 – Ejemplo de difractograma.....	155
Figura 3.33 – Granulometría.....	157
Figura 3.34 - Tabla de registro granulométrico	157
Figura 3.35 - Límite líquido	159
Figura 3.36 – Límite plástico	160
Figura 3.37 – Carta de Casagrande.....	162
Figura 3.38 – Preparación para pastilla prensada	164
Figura 3.39 – Preparación para perla	165
Figura 3.40 – Acondicionamiento en el espectrómetro.....	166
Figura 3.41 – Reducción desde un sistema de 3 variables a uno de 2 componentes principales.....	168
Figura 3.42 – Gráfico bidimensional (λ_1, λ_2) con ejes de componentes principales (PC_1, PC_2).....	169
Figura 3.43 – Cromatógrafo de gases acoplado a Espectrómetro de masas.	174
Figura 3.44 – Primera parte de la base de datos	175
Figura 3.45 – Segunda parte de la base de datos.....	176

Figura 4.1 – Fragmentos de adobes (grupo PR-I).....	180
Figura 4.2 – Representación de la distribución de áridos.....	182
Figura 4.3 – Difractograma representativo de muestra del grupo PR-I (muestra PR-5) .	185
Figura 4.4 – Difractograma comparativo del grupo PR-I.....	186
Figura 4.5 – Curva granulométrica	187
Figura 4.6 – Carta de Casa Grande (Grupo PR-I).....	188
Figura 4.7 – Fragmentos de pavimento (grupo PR-II).....	190
Figura 4.8 – Representación de la distribución de áridos.....	191
Figura 4.9 – Difractograma representativo de muestra del grupo PR-II (PR-21)	193
Figura 4.10 – Difractograma comparativo del grupo PR-II.....	194
Figura 4.11 – Curva granulométrica	195
Figura 4.12 – Carta de Casa Grande (Grupo PR-II).....	196
Figura 4.13 – Fragmentos de argamasa (grupo PR-III).....	198
Figura 4.14 - Representación de la distribución de áridos.....	199
Figura 4.15 - Difractograma representativo de muestra del grupo PR-III (PR-13).....	202
Figura 4.16 – Difractograma comparativo del grupo PR-III	202
Figura 4.17 – Curva granulométrica	203
Figura 4.18 – Carta de Casagrande (Grupo PR-III).....	204
Figura 4.19 – Fragmento de muro (grupo PR-IV)	207
Figura 4.20 – Representación de la distribución de áridos.....	207
Figura 4.21 – Difractograma representativo de muestra del grupo PR-IV (PR-22)	208
Figura 4.22 – Curva granulométrica	209
Figura 4.23 – Carta de Casagrande (Grupo PR-VI)	210
Figura 4.24 – Fragmento de muro (grupo PR-V)	212
Figura 4.25 - Representación de la distribución de áridos.....	213
Figura 4.26 – Difractograma representativo de muestra del grupo PR-V (PR-25).....	214
Figura 4.27 - Curva granulométrica.....	215
Figura 4.28 – Fragmentos de estuco (grupo TC-I).....	217
Figura 4.29 – Representación de la distribución de áridos.....	218
Figura 4.30 – Difractograma representativo de muestra del grupo TCI (TC-1)	221
Figura 4.31 – Difractograma comparativo del grupo TC-I.....	222
Figura 4.32 – Curva granulométrica	223
Figura 4.33 – Carta de Casa Grande (Grupo TC-I)	224
Figura 4.34 – Fragmentos de revestimiento (grupo TC-II)	227
Figura 4.35 – Representación de la distribución de áridos.....	228

Figura 4.36 – Difractograma representativo de muestra del grupo TC-II (TC-8)	230
Figura 4.37 – Difractograma comparativo del grupo TC-II.....	231
Figura 4.38 – Curva granulométrica	232
Figura 4.39 – Carta de Casa Grande (Grupo TC-II).....	233
Figura 4.40 – Fragmentos de adobes (grupo TM-I)	236
Figura 4.41 – Representación de la distribución de áridos	237
Figura 4.42 – Difractograma representativo de muestra del grupo TM-I (TM-1)	240
Figura 4.43 – Difractograma comparativo del grupo TM-I	240
Figura 4.44 – Curva granulométrica	241
Figura 4.45 – Carta de Casa Grande (Grupo TM-I)	242
Figura 4.46 – Fragmento de morteros (grupo TM-II)	245
Figura 4.47 – Representación de la distribución de áridos	246
Figura 4.48 - Difractograma representativo de muestra del grupo TM-II (TM-9)	248
Figura 4.49 - Difractograma comparativo del grupo TM-II.....	248
Figura 4.50 – Curva granulométrica	249
Figura 4.51 – Carta de Casa Grande (Grupo TM-II)	251
Figura 4.52 – Fragmentos de adobes (grupo C-I).....	254
Figura 4.53 - Representación de la distribución de áridos.....	255
Figura 4.54 – Difractograma representativo de muestra del grupo C-I (C-1)	257
Figura 4.55 – Difractograma comparativo del grupo C-I.....	257
Figura 4.56 – Curva granulométrica	258
Figura 4.57 – Carta de Casa Grande (Grupo C-I).....	259
Figura 4.58 – Fragmentos de adobes (grupo SM-I)	263
Figura 4.59 – Representación de la distribución de áridos	264
Figura 4.60 – Difractograma representativo de muestra del grupo SMI (SM-4)	266
Figura 4.61 – Difractograma comparativo del grupo SM-I	266
Figura 4.62 – Curva granulométrica	267
Figura 4.63 – Carta de Casa Grande (Grupo SM-I)	268
Figura 4.64 – Fragmento de estuco (grupo CC-I)	272
Figura 4.65 – Representación de la distribución de áridos	272
Figura 4.66 – Difractograma representativo de muestra del grupo CC-I (CC-1)	273
Figura 4.67 – Fragmentos de estuco (grupo CCII).....	276
Figura 4.68 – Representación de la distribución de áridos	277
Figura 4.69 – Difractograma representativo de muestra del grupo CC-II (CC-5)	279
Figura 4.70 – Difractograma comparativo del grupo CC-II	279

Figura 4.71 – Curva granulométrica	280
Figura 4.72 – Fragmento de pared (grupo CC-III)	283
Figura 4.73 – Representación de la distribución de áridos	283
Figura 4.74 – Difractograma representativo de muestra del grupo CC-III (CC-4).....	284
Figura 4.75 – Fragmentos de adobes (grupo B-I).....	287
Figura 4.76 – Representación de la distribución de áridos	288
Figura 4.77 – Difractograma representativo de muestra del grupo B-I (B-3)	290
Figura 4.78 – Difractograma comparativo del grupo B-I.....	290
Figura 4.79 – Curva granulométrica	291
Figura 4.80 – Carta de Casa Grande (Grupo B-I).....	292
Figura 4.81 – Fragmento de adobe (grupo B-II)	294
Figura 4.82 – Representación de la distribución de áridos	295
Figura 4.83 – Difractograma representativo de muestra del grupo BII (B-1)	296
Figura 4.84 – Curva granulométrica	297
Figura 4.85 – Fragmento de escañizado (grupo B-III)	299
Figura 4.86 – Representación de la distribución de áridos	300
Figura 4.87 – Difractograma representativo de muestra del grupo BIII (B-7).....	301
Figura 4.88 – Curva granulométrica	302
Figura 4.89 – Fragmento de revestimiento (grupo B-IV)	304
Figura 4.90 – Representación de la distribución de áridos.....	304
Figura 4.91 – Difractograma representativo de muestra del grupo BIV (B-8)	305
Figura 4.92 – Curva granulométrica	306
Figura 4.93 – Fragmentos de mortero (grupo VR-I)	312
Figura 4.94 – Representación de la distribución de áridos.....	313
Figura 4.95 – Difractograma representativo de muestra del grupo VRI (VR-12)	316
Figura 4.96 – Difractograma comparativo del grupo TCII	316
Figura 4.97 – Curva granulométrica	317
Figura 4.98 – Carta de Casa Grande (Grupo VRI)	318
Figura 4.99 – Fragmentos de mortero (grupo VR-II)	320
Figura 4.100 – Representación de la distribución de áridos	322
Figura 4.101 – Difractograma representativo de muestra del grupo VRII (VR-36)	325
Figura 4.102 – Difractograma comparativo del grupo VRII	326
Figura 4.103 – Curva granulométrica	327
Figura 4.104 – Carta de Casa Grande (Grupo VRII)	328
Figura 4.105 – Fragmentos de mortero (grupo VRIII)	331

Figura 4.106 – Representación de la distribución de áridos	333
Figura 4.107 – Difractograma representativo de muestra del grupo VRIII (VR-14)	336
Figura 4.108 – Difractograma comparativo del grupo VRIII	336
Figura 4.109 – Curva granulométrica	337
Figura 4.110 – Carta de Casa Grande (Grupo VRIII)	339
Figura 4.111 – Fragmentos de mortero (grupo VR-IV)	341
Figura 4.112 – Representación de la distribución de áridos	342
Figura 4.113 – Difractograma representativo de muestra del grupo VR-IV (VR-31)	343
Figura 4.114 – Difractograma comparativo del grupo VR-IV	344
Figura 4.115 – Curva granulométrica	345
Figura 4.116 – Fragmentos de mortero (grupo VR-V)	347
Figura 4.117 – Representación de la distribución de áridos	348
Figura 4.118 – Difractograma representativo de muestra del grupo VRV (VR-5).....	351
Figura 4.119 – Difractograma comparativo del grupo VR-V	351
Figura 4.120 – Curva granulométrica	352
Figura 4.121 – Fragmentos de adobes (grupo CST-I)	356
Figura 4.122 – Representación de la distribución de áridos	358
Figura 4.123 – Difractograma representativo de muestra del grupo CST I (CST-7)	361
Figura 4.124 – Difractograma comparativo del grupo CST-I	362
Figura 4.125 – Curva granulométrica	363
Figura 4.126 – Carta de Casa Grande (Grupo CST-I)	364
Figura 4.127 – Fragmentos de adobe (grupo BAZ-I)	368
Figura 4.128 – Representación de la distribución de áridos	369
Figura 4.129 – Difractograma representativo de muestra del grupo (BAZ001-3)	371
Figura 4.130 – Difractograma comparativo del grupo BAZ001-I	371
Figura 4.131 – Curva granulométrica	373
Figura 4.132 – Carta de Casa Grande (Grupo BAZ-I)	374
Figura 5.1 – Fragmentos orgánicos (PR-14)	406
Figura 5.2 – Fragmentos de posible caolinita (PR-13)	406
Figura 5.3 – Posible chamota (PR-7 y PR-19).....	407
Figura 5.4 – Fragmentos orgánicos (TC-1 y TC-13)	407
Figura 5.5 – Posible chamota (TM-5)	407
Figura 5.6 – Fragmentos orgánicos (SM-3)	408
Figura 5.7 – Posible chamota (B-1)	408
Figura 5.8 – Fragmentos que sugieren tobas volcánicas (VR-1 y VR-3)	408

Figura 5.9 - Comparación de tipos de adobes	411
Figura 5.10 - Clase I - Mortero de arena gruesa con textura granular	415
Figura 5.11 - Clase II - Mortero de arena gruesa con textura flotante	416
Figura 5.12 - Clase III - Mortero de arena gruesa con cantos	417
Figura 5.13 - Clase IV - Mortero de cal con algún canto	418
Figura 5.14 - Clase V - Mortero de arena fina	419
Figura 5.15 - Clase VI - Mortero de yeso con arena gruesa	420
Figura 6.1 – Reacción de sililación con BSTFA	436
Figura 6.2 - hidróxido de (m-trifluorometilfenil)trimetilamonio (TFTFAH)	437
Figura 6.3 – Cromatogramas – Muestra TC-8MC	438
Figura 6.4 - PR-4MC	439
Figura 6.5 - PR-23MC	440
Figura 6.6 - C-1MC	441
Figura 6.7 - C-2-MC	442
Figura 6.8 - TC-8MC	443
Figura 6.9 - TC-14MC	445
Figura 6.10 - TM-3MC	445
Figura 6.11 - TM-8MC	446
Figura 6.12 - SM-1MC	447
Figura 6.13 - SM-3MC	448
Figura 6.14 - CC-1MC	448
Figura 6.15 - CC-5MC	449
Figura 6.16 - B-5MC	450
Figura 6.17 – B-8MC	451
Figura 6.18 - VR-3MC	452
Figura 6.19 - VR-8MC	453
Figura 6.20 - BAZ001-2MC	454
Figura 6.21 - BAZ001-3MC	455

ÍNDICES DE TABLAS

Tabla 1.1 - Métodos de laboratorio	43
Tabla 2.1 - Características de las variedades de yeso según la temperatura	99
Tabla 2.2 - Clasificación de los yesos según el proceso de calcinación	100
Tabla 2.3 - Clasificación de los agregados o áridos	102
Tabla 2.4 - Propiedades de los aditivos	102
Tabla 3.1 – Clasificación por tamaño de partículas menores de 2mm	139
Tabla 3.2 - Clasificación del diámetro de los poros	141
Tabla 3.3 - Clasificación de la abundancia de poros	141
Tabla 3.4 - Funciones y tamaños de los poros del suelo	142
Tabla 3.5 - Clasificación de espacios porosos	142
Tabla 3.6 – Clasificación de suelos	162
Tabla 3.7 - Índice de hidráulica según Vicat	171
Tabla 4.1 – Coordenadas cromáticas de Puig Roig del Roget	179
Tabla 4.2 – Número de poros por cm^2 – PRI	184
Tabla 4.3 – Composición mineralógica de adobes (%).....	186
Tabla 4.4 – Límites de Atterberg	187
Tabla 4.5 - Composición química de los óxidos	189
Tabla 4.6 - Composición química de los elementos traza	189
Tabla 4.7 - Índice de hidráulica.....	190
Tabla 4.8 – Número de poros por cm^2 – PRII	192
Tabla 4.9 – Composición mineralógica de pavimentos (%)	194
Tabla 4.10 – Límites de Atterberg	195
Tabla 4.11 - Composición química de los óxidos	197
Tabla 4.12 - Composición química de los elementos traza	197
Tabla 4.13 - Índice de hidráulica	197
Tabla 4.14 – Número de poros por cm^2 – PRIII	201
Tabla 4.15 – Composición mineralógica de argamasas (%)	202
Tabla 4.16 - Límites de Atterberg	204
Tabla 4.17 - Composición química de los óxidos	205
Tabla 4.18 - Composición química de los elementos traza	205
Tabla 4.19 - Índice de hidráulica.....	206
Tabla 4.20 – Composición mineralógica de revestimiento (%)	208
Tabla 4.21 - Límites de Atterberg	210

Tabla 4.22 - Composición química de los óxidos	211
Tabla 4.23 - Composición química de los elementos traza	211
Tabla 4.24 - Índice de hidraulicidad	212
Tabla 4.25 – Composición mineralógica de soporte (%).....	214
Tabla 4.26 – Coordenadas cromáticas de Turó del Calvari	216
Tabla 4.27 – Número de poros por cm ² – TCI	220
Tabla 4.28 – Composición mineralógica de estucos (%)	222
Tabla 4.29 – Límites de Atterberg	224
Tabla 4.30 - Composición química de los óxidos	225
Tabla 4.31 - Composición química de los elementos traza	225
Tabla 4.32 - Índice de hidraulicidad	226
Tabla 4.33 – Número de poros por cm ² – TCII	229
Tabla 4.34 – Composición mineralógica de revestimiento (%)	231
Tabla 4.35 – Límites de Atterberg	232
Tabla 4.36 - Composición química de los óxidos	234
Tabla 4.37 - Composición química de los elementos traza	234
Tabla 4.38 - Índice de hidraulicidad	234
Tabla 4.39 – Coordenadas cromáticas de Tossal del Moro de Pineres	235
Tabla 4.40 – Números de poros por cm ² – TMI	239
Tabla 4.41 - Composición mineralógica de adobes (%)	241
Tabla 4.42 – Límites de Atterberg	242
Tabla 4.43 - Composición química de los óxidos	243
Tabla 4.44 - Composición química de los elementos traza	243
Tabla 4.45 - Índice de hidraulicidad	244
Tabla 4.46 – Números de poros por cm ² – TMII	247
Tabla 4.47 - Composición mineralógica de morteros (%)	249
Tabla 4.48 – Límites de Atterberg	250
Tabla 4.49 - Composición química de los óxidos	252
Tabla 4.50 - Composición química de los elementos traza	252
Tabla 4.51 - Índice de hidraulicidad	252
Tabla 4.52 – Coordenadas cromáticas de Castellons de Flix	253
Tabla 4.53 – Número de poros por cm ² – CI	256
Tabla 4.54 – Composición mineralógica de adobes (%)	258
Tabla 4.55 – Límites de Atterberg	259
Tabla 4.56 - Composición química de los óxidos	260

Tabla 4.57 - Composición química de los elementos traza	260
Tabla 4.58 - Índice de hidraulicidad	261
Tabla 4.59 – Coordenadas cromáticas de Sant Miquel de Vinebre	262
Tabla 4.60– Número de poros por cm ²	265
Tabla 4.61 – Composición mineralógica de adobes (%)	267
Tabla 4.62 – Limites de Atterberg	268
Tabla 4.63 - Composición química de los óxidos	269
Tabla 4.64 - Composición química de los elementos traza	269
Tabla 4.65 - Índice de hidraulicidad	270
Tabla 4.66 – Coordenadas cromáticas de Costa dels Capellans	271
Tabla 4.67 – Composición mineralógica de estuco (%)	274
Tabla 4.68 - Composición química de los óxidos.....	275
Tabla 4.69 - Composición química de los elementos traza	275
Tabla 4.70 - Índice de hidraulicidad	275
Tabla 4.71 – Número de poros por cm ² – CCII	278
Tabla 4.72 – Composición mineralógica de adobes (%)	280
Tabla 4.73 - Composición química de los óxidos	281
Tabla 4.74 - Composición química de los elementos traza	282
Tabla 4.75 - Índice de hidraulicidad	282
Tabla 4.76 – Composición mineralógica de estuco (%)	285
Tabla 4.77 – Coordenadas cromáticas de Villa de Barrugat	286
Tabla 4.78 – Número de poros por cm ² – BI	289
Tabla 4.79 – Composición mineralógica de adobes (%)	291
Tabla 4.80 – Limites de Atterberg	292
Tabla 4.81 - Composición química de los óxidos	293
Tabla 4.82 - Composición química de los elementos traza	293
Tabla 4.83 - Índice de hidraulicidad	294
Tabla 4.84 – Composición mineralógica de adobes – BII	296
Tabla 4.85 - Composición química de los óxidos	298
Tabla 4.86 - Composición química de los elementos traza	298
Tabla 4.87 - Índice de hidraulicidad	298
Tabla 4.88 – Composición mineralógica de adobes – BIII	301
Tabla 4.89 - Composición química de los óxidos	303
Tabla 4.90 - Composición química de los elementos trazos	303
Tabla 4.91 - Índice de hidraulicidad	303

Tabla 4.92 – Composición mineralógica de adobes.....	306
Tabla 4.93 - Composición química de los óxidos	307
Tabla 4.94 - Composición química de los elementos trazos	308
Tabla 4.95 - Índice de hidraulicidad	308
Tabla 4.96 – Coordenadas cromáticas de Villaricos	309
Tabla 4.97 – Número de poros por cm ² – VRI	315
Tabla 4.98 – Composición mineralógica de revestimiento (%)	317
Tabla 4.99 – Límites de Atterberg	318
Tabla 4.100 - Composición química de los óxidos	319
Tabla 4.101 - Composición química de los elementos traza	319
Tabla 4.102 - Índice de hidraulicidad	320
Tabla 4.103 – Número de poros por cm ² – VRII	324
Tabla 4.104 – Composición mineralógica de revestimiento (%)	326
Tabla 4.105 – Límites de Atterberg	328
Tabla 4.106 - Composición química de los óxidos	329
Tabla 4.107 - Composición química de los elementos traza	330
Tabla 4.108 - Índice de hidraulicidad	330
Tabla 4.109 – Número de poros por cm ² – VRIII	334
Tabla 4.110 – Composición mineralógica de revestimiento (%)	337
Tabla 4.111 – Límites de Atterberg	338
Tabla 4.112 - Composición química de los óxidos	340
Tabla 4.113 - Composición química de los elementos traza	340
Tabla 4.114 - Índice de hidraulicidad	341
Tabla 4.115 – Composición mineralógica de revestimiento (%)	344
Tabla 4.116 - Composición química de los óxidos	346
Tabla 4.117 - Composición química de los elementos traza.....	346
Tabla 4.118 - Índice de hidraulicidad	346
Tabla 4.119 – Número de poros por cm ² – VRV	350
Tabla 4.120 – Composición mineralógica de revestimiento (%)	352
Tabla 4.121 - Composición química de los óxidos	353
Tabla 4.122 - Composición química de los elementos traza.....	354
Tabla 4.123 - Índice de hidraulicidad	354
Tabla 4.124 – Coordenadas cromáticas de Cerro del Santuario	355
Tabla 4.125 – Número de poros por cm ² – CSTI	360
Tabla 4.126 – Composición mineralógica de adobes (%)	362

Tabla 4.127 – Límites de Atterberg	364
Tabla 4.128 - Composición química de los óxidos	365
Tabla 4.129 - Composición química de los elementos traza	366
Tabla 4.130 - Índice de hidráulicidad	366
Tabla 4.131 – Coordenadas cromáticas de Cerro Cepero	367
Tabla 4.132 – Número de poros por cm ² – BAZI	370
Tabla 4.133 – Composición mineralógica de adobes (%)	372
Tabla 4.134 – Límites de Atterberg	374
Tabla 4.135 - Composición química de los óxidos	375
Tabla 4.136 - Composición química de los elementos traza	375
Tabla 4.137 - Índice de hidráulicidad	376
Tabla 5.1 - Tipos de adobes	410
Tabla 5.2 - Clasificación de adobes	412
Tabla 5.3 - Clasificación de morteros	422
Tabla 6.1 – Descripción de las muestras.....	431
Tabla 6.2 – Criterios para la selección de las muestras	431
Tabla 6.3 - Derivados del trimetilsilano más utilizados en reacciones de sililación	433
Tabla 6.4 – Grupos funcionales que forman derivados trimetilsililo	435
Tabla 6.5 - PR-4MC	440
Tabla 6.6 – PR-23MC	441
Tabla 6.7 - C-1MC	441
Tabla 6.8 - C-2-MC	442
Tabla 6.9 - TC-8MC	443
Tabla 6.10 - TC-14MC	444
Tabla 6.11 - TM-3MC	445
Tabla 6.12 - TM-8MC	446
Tabla 6.13 - SM-1MC	447
Tabla 6.14 - SM-3MC	448
Tabla 6.15 - CC-1MC	449
Tabla 6.16 - CC-5MC	449
Tabla 6.17 - B-5MC	450
Tabla 6.18 - B-8MC	451
Tabla 6.19 - VR-3MC	452
Tabla 6.20 - VR-8MC	453
Tabla 6.21 - BAZ001-2MC	454

Tabla 6.22 - BAZ001-3MC	455
Tabla 6.23 – Compuestos identificados en las muestras PR-04MC, PR-23MC, CC-01MC, C-02MC	456
Tabla 6.24 - Compuestos identificados en las muestras TC-08MC, TC-14MC, TM-03MC, TM-08MC.....	456
Tabla 6.25 – Compuestos identificados en las muestras SM-01MC, SM-03MC, CC-01MC, CC-05MC	456
Tabla 6.26 – Compuestos identificados en las muestras B-05MC, B-08MC, VR-03MC, VR-08MC	457
Tabla 6.27 - Compuestos identificados en las muestras BAZ001-02MC, BAZ001-03MC..	457

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 – Diámetro de áridos (mm) – PRI	181
Gráfico 4.2 – Tamaños de poros (mm)	184
Gráfico 4.3 – Función de poros	185
Gráfico 4.4 – Diámetro de áridos (mm) – PRII	191
Gráfico 4.5 – Tamaño de poros (mm)	192
Gráfico 4.6 – Función de poros	193
Gráfico 4.7 – Diámetro de áridos (mm) – PRIII	199
Gráfico 4.8 – Tamaño de poros (mm)	200
Gráfico 4.9 – Función de poros	201
Gráfico 4.10 – Diámetro de áridos (mm) – TCI	218
Gráfico 4.11 – Tamaños de poros (mm)	220
Gráfico 4.12 – Función de poros	221
Gráfico 4.13 – Diámetro de áridos (mm) – TCII	227
Gráfico 4.14 – Tamaño de poros (mm)	229
Gráfico 4.15 – Función de poros	230
Gráfico 4.16 – Diámetros de áridos (mm) – TMI	237
Gráfico 4.17 – Tamaños de poros (mm)	238
Gráfico 4.18 – Función de poros	239
Gráfico 4.19 – Diámetros de áridos (mm) – TMII	245
Gráfico 4.20 – Tamaño de poros.....	247
Gráfico 4.21 - Función de poros	247
Gráfico 4.22 - Diámetro de áridos (mm) – CI	254
Gráfico 4.23 – Tamaño de poros (mm)	256
Gráfico 4.24 – Función de poros	256
Gráfico 4.25 – Diámetro de áridos (mm) – SMI	263
Gráfico 4.26 – Tamaños de poros (mm)	265
Gráfico 4.27 – Función de poros	265
Gráfico 4.28 – Diámetro de áridos (mm) – CCII	276
Gráfico 4.29 – Tamaños de poros (mm)	278
Gráfico 4.30 – Función de poros	278
Gráfico 4.31 – Diámetro de áridos (mm) – BI	287
Gráfico 4.32 – Tamaños de poros (mm)	288
Gráfico 4.33 – Función de poros	289

Gráfico 4.34 – Diámetro de áridos (mm) – VRI	313
Gráfico 4.35 – Tamaños de poros (mm)	314
Gráfico 4.36 – Función de poros	315
Gráfico 4.37 – Diámetro de áridos (mm) – VRII	322
Gráfico 4.38 – Tamaño de poros (mm)	324
Gráfico 4.39 – Función de poros	325
Gráfico 4.40 – Diámetro de áridos (mm) – VRIII	332
Gráfico 4.41 – Tamaño de poros (mm)	334
Gráfico 4.42 – Función de poros	335
Gráfico 4.43 – Diámetro de áridos (mm) – VRIV	342
Gráfico 4.44 – Diámetro de áridos (mm) – VRV	348
Gráfico 4.45 – Tamaño de poros (mm)	349
Gráfico 4.46 – Función de poros	350
Gráfico 4.47 – Diámetro de áridos (mm) – CSTI	357
Gráfico 4.48 – Tamaños de poros (mm)	360
Gráfico 4.49 – Función de poros	361
Gráfico 4.50 – Diámetro de áridos (mm) – BAZI	368
Gráfico 4.51 – Tamaños de poros (mm)	370
Gráfico 4.52 – Función de poros	370
Gráfico 5.1 – Promedio de minerales (PR)	378
Gráfico 5.2 – Promedio de minerales (TC)	379
Gráfico 5.3 – promedio de minerales (TM).....	380
Gráfico 5.4 – Promedios de minerales (C)	381
Gráfico 5.5 – promedio de minerales (SM)	382
Gráfico 5.6 – Promedio de minerales (CC)	383
Gráfico 5.7 – Promedio de minerales (B)	384
Gráfico 5.8 – Promedio de minerales (VR)	385
Gráfico 5.9 – Promedio de minerales (CST)	386
Gráfico 5.10 – Promedio de minerales (BAZ)	387
Gráfico 5.11 – Promedio de minerales (Nordeste)	388
Gráfico 5.12 – Promedio de minerales (Sur)	389
Gráfico 5.13 – Promedio de minerales general	389
Gráfico 5.14 - Granulometría por imagen	390
Gráfico 5.15 – Granulometría por tamizado	390
Gráfico 5.16 – Índices de Atterberg (promedio)	391

Gráfico 5.17 – Clasificación de las muestras por yacimiento (nordeste)	392
Gráfico 5.18 – Posición de los componentes químicos (nordeste)	393
Gráfico 5.19 – Clasificación de las muestras por yacimiento (sur)	394
Gráfico 5.20 – Posición de los componentes químicos (sur).....	395
Gráfico 5.21 – Clasificación de las muestras por yacimiento (nordeste)	396
Gráfico 5.22 – Posición de los componentes químicos (nordeste)	397
Gráfico 5.23 – Clasificación de las muestras por yacimiento (sur)	398
Gráfico 5.24 – Posición de los componentes químicos (sur)	399
Gráfico 5.25 – Clasificación de las muestras por nombre – Dos regiones	400
Gráfico 5.26 – Clasificación de las muestras por yacimiento – Dos regiones.....	401
Gráfico 5.27 – Clasificación de las muestras por regiones	401
Gráfico 5.28 – Posición de los componentes químicos – Dos regiones	402
Gráfico 5.29 – Clasificación de las muestras por yacimiento – Dos regiones	403
Gráfico 5.30 – Clasificación de las muestras por yacimiento – Dos regiones	403
Gráfico 5.31 – Clasificación de las muestras por regiones	404
Gráfico 5.32 – Posición de los componentes químicos – Dos regiones	404
Gráfico 5.33 – Promedio de hidráulicidad	405
Gráfico 5.34 - Tipos de morteros	421

Resumen



RESUMEN

El empleo de las técnicas arqueométricas para caracterizar las estructuras de construcción elaboradas con tierra cruda se torna cada vez más frecuente en los trabajos científicos actuales, porque puede aportar conocimientos relevantes sobre un material de inmensa importancia para diversas áreas. Conocer el material tierra, su composición, su valor arquitectónico y las técnicas que la utilizan como elemento de construcción, hasta hace poco era una intención investigativa que causaba sorpresa en el medio académico, sin embargo, actualmente el tema ha logrado un reconocimiento merecido a expensas de contribuciones serias y determinadas de numerosos investigadores, como se describe en los fundamentos teóricos de esta Memoria.

Esta investigación pretende, a través de un estudio multidisciplinar, incrementar el conocimiento, bajo esa nueva mirada, sobre el material tierra y sus diversas utilidades como elemento constructivo. Se presenta una caracterización mineralógica, química y textural de fragmentos de adobes y morteros tomados de diez yacimientos españoles localizados en las regiones nordeste y sur de la Península Ibérica - actuales Cataluña y Andalucía, respectivamente. Estos sitios arqueológicos están catalogados en épocas históricas diferentes que van desde el siglo X a. C. hasta el siglo VII d. C. Para ese trabajo fueron utilizadas técnicas de análisis habituales para los estudios de esas estructuras, como son la difracción de rayos X, la fluorescencia de rayos X, la cromatografía de gases y espectrometría de masas, junto con los análisis texturales y de imágenes de estos elementos. Además de tecnologías complementarias como la colorimetría, la granulometría, los índices de Atterberg y la quimiometría, con el fin de corroborar los resultados de los análisis. En esa Memoria los adobes y morteros históricos fueron ordenados en clases específicas, con base en sus características más evidentes. La propuesta fue contribuir para el área de investigación con un perfeccionamiento o creación de nuevas clasificaciones que permitan situar de modo más preciso los fragmentos que no lograron corresponder a las características de las clases ya existentes. Asimismo fue posible crear una base de datos que servirá como fuente de información para estudios futuros.

Palabras claves: Arqueometría – Adobes – Morteros - Difracción de Rayos X – Fluorescencia de Rayos X – Quimiometría

RESUMO

O emprego das técnicas arqueométricas para caracterizar as estruturas construção elaboradas com terra crua torna-se cada vez mais freqüente nos trabalhos científicos atuais, porque pode aportar conhecimentos relevantes sobre um material de imensa importância para diversas áreas. Conhecer o material terra, sua composição, seu valor arquitetônico e as técnicas que a utilizam como elemento de construção, até a bem pouco tempo, era uma intenção de pesquisa que causava surpresa no meio acadêmico, no entanto, atualmente o tema alcançou um reconhecimento merecido a custa de contribuições sérias e determinadas de numerosos pesquisadores, como será descrito nos fundamentos teóricos desta Memória.

Essa Tese Doutoral pretende, através de um estudo multidisciplinar, incrementar o conhecimento, com essa nova visão, sobre o material terra e suas diversas utilidades como elemento construtivo. Apresenta-se uma caracterização mineralógica, química e textural de fragmentos de adobes e argamassas recolhidos de dez sítios arqueológicos espanhóis localizados nas regiões nordeste e sul da Península Ibérica, atuais Catalunha e Andaluzia. Estes sítios arqueológicos estão catalogados em épocas históricas diferentes que vão desde o século X a.C. até o século VII d.C. Para esse trabalho foram utilizadas técnicas de análises habituais para os estudos de essas estruturas, como a difração de raios X, a fluorescência de raios X, a cromatografia de gases e espectrometria de massas, junto com análises texturais e de imagens destes elementos. Além de tecnologias complementarias como a colorimetria, a granulometria, os índices de Atterberg e a quimiometria, com o fim de ratificar os resultados das análises. Nessa Memória os adobes e argamassas históricos foram ordenados em classes específicas, com base em suas características mais evidentes. A proposta foi contribuir para a área de pesquisa com um aperfeiçoamento ou criação de novas classificações que permitam situar de modo mais preciso os fragmentos que não conseguiram corresponder às características das classes já existentes. Também foi possível criar uma base de dados que servirá como fonte de informação para estudos futuros.

Palavras chaves: Arqueometria – Adobes – Argamassas – Difração de Raios X – Fluorescência de Raios X – Quimiometria

SUMMARY

The use of archaeometric techniques to characterize the construction structures developed with raw soil becomes more and more frequent in current scientific works, because they can gather relevant knowledge about a material of utmost importance to various areas. To know the element earth, its composition, its architectural value and the techniques that use it as construction element, until very recently, was research that caused surprise in the academic world, however, this subject has now achieved a well deserved recognition due to serious contributions from countless researchers, as described in the theoretical foundations of this memorandum.

This doctoral thesis intends, with this new vision, to increase the knowledge over the earth material and its many utilities as a constructive element, through a multidisciplinary study. There is a mineralogical, chemical and textural characterization of adobe fragments and mortars collected from ten Spanish archaeological sites located in the northeast and southern regions of the Iberian Peninsula, currently Catalonia and Andalusia. These archaeological sites are cataloged in different times of history, ranging from the 10th Century b.C. To the 7th Century a.D. For this project, the habitual analysis techniques were used to study these structures. Techniques such as X-ray diffraction, X-ray fluorescence, gas chromatography and mass spectrometry, along with textural and image analysis of these elements. In addition, complementary technologies were used such as colorimetry, granulometry, Atterberg limits, and chemometrics, in order to ratify the results of the analysis. In this memorandum, the historical adobes and mortars were sorted into specific classes, based on their more evident features. The proposal was to contribute to the research area with an enhancement or creation of new classifications that allow to locate more precisely the fragments that failed to match the characteristics of the existing classes. It was also possible to create a database that will serve as a source of information for future studies.

Key words: Archeometry – Adobes – Mortars – X-ray diffraction – X-ray fluorescence – Chemometrics

Antecedentes y Objetivos



ANTECEDENTES Y OBJETIVO

La arquitectura en tierra puede ser comprendida como la construcción edificada en tierra cruda, que la utiliza como materia prima respetando sus características mineralógicas. El acto de edificar con tierra se ha desarrollado a partir de la transmisión del conocimiento popular, de las respuestas lógicas a las necesidades locales y de los recursos ofrecidos por el entorno. Sin embargo, esos conocimientos tradicionales, que son pasados de una generación a otra oralmente y mediante experiencias vivenciales, raramente cuentan con documentos que permitan su caracterización y difusión, quedando expuestos a influencias y alteraciones externas que seguramente desvirtuarán las bases originales (GUERRERO BACA, 2007).

La tierra edificable puede ser abordada a nivel técnico y mismo en el medio científico. Y todos los trabajos de investigación sobre el tema comprueban que es un material que no tiene límites en sus aplicaciones, una vez conocido sus cualidades y deficiencias.

La construcción en tierra se puede aproximar a nivel técnico e incluso científico, igualmente como otras tecnologías de construcción. El esfuerzo actual para su investigación demuestra eso. Este material no está limitado en sus aplicaciones, siempre y cuando se conoce la mayor gama de sus cualidades y como superar sus deficiencias para explotarla sabiamente¹ (GUILLAUD y HOUBEN, 1989).

El cambio para esta nueva visión sobre la arquitectura en tierra viene de la experiencia y de investigaciones desarrolladas en diferentes instituciones en todo el mundo, donde se ha comprobado que la tierra como material constructivo es cada vez más valorada positivamente, porque prácticamente no genera contaminación ambiental, no contiene sustancias tóxicas, su producción y transporte utilizan poca energía y demanda menores costos. Además que puede ser reciclada casi en su totalidad, volviendo a ser parte de la naturaleza (ROTONDARO, 2007).

La tierra cruda fue utilizada en la antigüedad como material constructivo y sigue empleándose actualmente. Para ese fin, puede ser excavada, modelada, prensada, apilada, recortada, servir de relleno, de cobertura, de recubrimiento, y mucho más. Hay muchos modos y técnicas para construir con todo el tipo de suelo, pero es imprescindible el dominio

¹ La construction en terre peut être approchée à un niveau technique et même scientifique, à l'égal d'autres technologies de construction. L'effort actuel de recherche dans ce domaine le prouve. Ce matériau n'est pas limité dans ses applications, pour peu que l'on sache exploiter à bon escient la plus large gamme de ses qualités et pallier ses défauts.

del conocimiento sobre ese elemento para que se pueda elegir la técnica a aplicar y lograr el resultado esperado (CORREIA, 2006).

Existen tres sistemas generales de transformar la tierra en elementos constructivos (STULZ y MUKERJI, 1993):

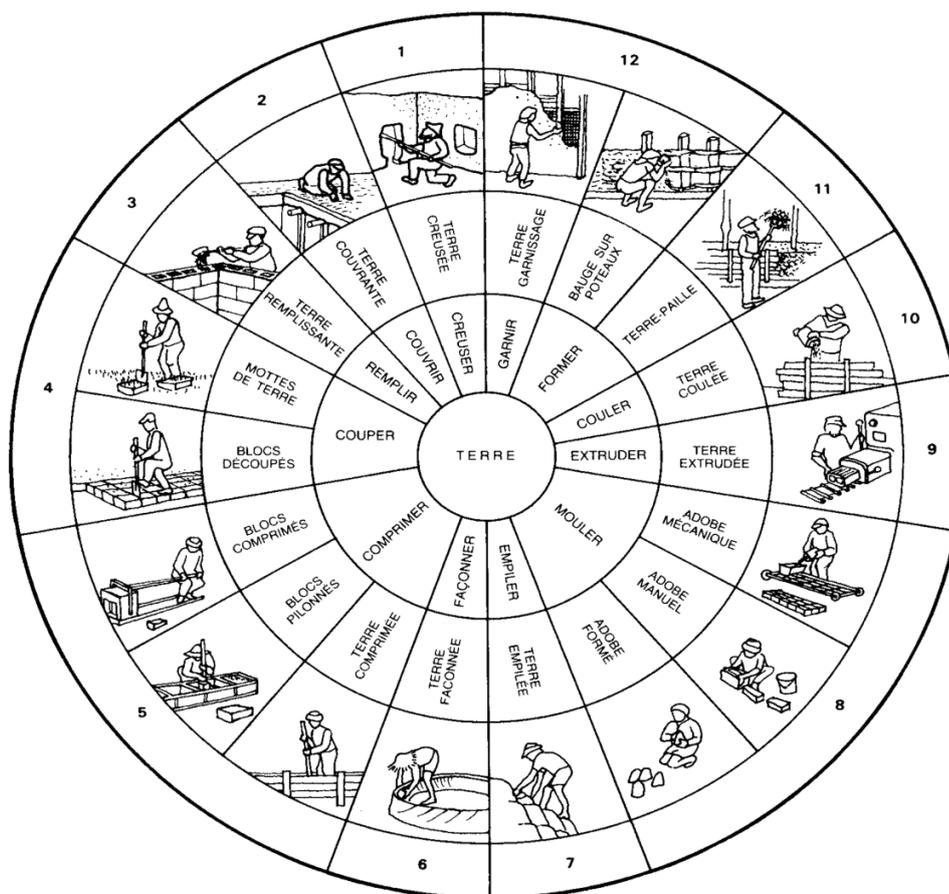
1 – Fabricar pequeños elementos individuales (adobes, ladrillos, bloques o similares), que se unen con mortero para realizar una obra de fábrica. El adobe es un bloco macizo de tierra sin cocer, conteniendo paja u otro material que mejore su estabilidad y resistencia frente a los agentes externos (MINKE, 2001).

2 – Trabajar la tierra en masa, y moldear muros de una pieza, dando lugar a una construcción monolítica (tapial o apisonado). Esta técnica tiene como base la carga de material suelto, que es apisonado en el sitio para constituir así la pieza elegida, utilizando para ello de un encofrado. No siempre es construida como si fuera una sola pieza monolítica, sino que se trabaja adicionando bloques de grandes dimensiones, a la manera de construcción de las mamposterías (VIÑUALES et al, 1989).

3 – Recubrir o rellenar de tierra una estructura de un material diferente. En este caso, la tierra no es portante y la solidez del edificio depende principalmente de la estructura portante (entramados). La técnica consiste en la utilización de estructuras sustentantes permanentes de madera que son empastados a ambos los lados con gruesos estratos de tierra mezclada con paja u otro material (LÓPEZ-MANZANARES et al, 2011)

A partir de éstos, se diversifica enormemente, según en qué cualidad tenga la tierra que se elabore. Como se puede en la Figura 01.

Figura 1 - Tipologías constructivas en tierra en función de su uso estructural



Fuente: GUILLAUD y HOUBEN, 1989

Para el investigador no especializado el estudio de los materiales constructivos, y principalmente los de tierra cruda, aporta poca información a simple vista, se comparado con los demás fragmentos recuperados durante una investigación arqueológica. Sin embargo, estos materiales contienen restos botánicos y otros materiales del momento de construcción, que pueden ser usados para la reconstrucción de todo un poblado antiguo (SYMONDS, CYPHERS y REGUEIRO, 2002; DANEELS y GUERRERO, 2012).

No obstante, en general cuando se encuentran reportes y descripciones de sistemas constructivos, estos son estudios informativos, ilustrativos y con escasa profundidad.

El desconocimiento de estos materiales evita que se vea que las actividades constructivas frecuentemente ejercían y siguen ejerciendo una presión sobre la población y que en determinadas ocasiones poden constituir motivo de conflicto político (MARTÍNEZ, 1996; KILIAN, 2010).

Los estudios de caracterización de los materiales constructivos por la arqueometría, utilizando técnicas analíticas específicas, complementadas con la observación in situ de características acerca de su uso, constituye una fuente importante de información histórica y

cultural sobre la selección de materias primas por parte de las sociedades del pasado (VILLSEÑOR ALONSO y BARBA PINGARRÓN, 2011). Técnicas de análisis como petrografía, microscopía electrónica de barrido y difracción de rayos X, que permiten la caracterización elemental y mineralógica de los materiales constructivos, pueden tener sus datos contrastados con las cartas geológicas ayudando a responder las interrogativas sobre procedencia de los mismos (BARBA et al, 2009, MIRIELLO et al, 2011).

Y todavía se puede particularizar cada muestra de material constructivo cuando se emplea la cromatografía de gases y espectrometría de masas y/o la cromatografía de líquidos de alta resolución para la identificación de los aditivos utilizados en la pasta que sirvió para su fabricación (MAGALONI, 1998).

Otro aspecto importante percibido en los estudios de materiales constructivos es la posibilidad de identificar las actividades humanas a través de la distribución y concentración de sustancias impregnadas en los pisos de tierra apisonada y cal y que son indicativos de las actividades en el momento de la ocupación de las estructuras arquitectónicas. El análisis de residuos como ácidos grasos, residuos proteicos y fosfatos, entre otras sustancias, encontrados en esos pisos, pueden señalar diversas actividades, tales como la limpieza, preparación alimentos y desecho de materiales (MIDDLETON et al, 2010; TERRY et al, 2004).

La tendencia reciente está en el uso de análisis estadísticos modernos sobre datos químicos de la fluorescencia de rayos X. Esas técnicas permiten, con los procesamiento de estos datos, la detección y cuantificación de componentes a través de concentraciones traza y consecuentemente la caracterización química y mineralógica de las materias primas empleadas en la fabricación de los materiales constructivos. Este estudio logra establecer grupos y correlaciones entre los distintos fragmentos analizados (MURAKAMI et al, 2006; BARBA et al, 2009).

Planteamiento del problema de investigación

Las arquitecturas de tierra manufacturadas por los grupos humanos en épocas remotas poseen, por varias razones, un alto interés en cuanto a su estudio y conservación (CHIAPPERO y SUPISICHE, 2006). Y, según los especialistas, es necesario emprender nuevas vías de investigación dentro del campo de la construcción a fin de comprender aquellas que forman nuestro patrimonio monumental y poder llevar a cabo la prevención de daños. Por

esto se hace necesario conocer los sistemas constructivos y el comportamiento de los diferentes materiales utilizados en la construcción (ESPINAR MORENO, 2000).

Objetivo General

A partir de los hallazgos y planteamientos derivados de las investigaciones previas se propone caracterizar los materiales de tierra utilizados en la construcción, en especial adobes y morteros históricos de 10 yacimientos localizados en las regiones nordeste y sur de la Península Ibérica, desde un punto de vista mineralógico y químico, mediante la aplicación de distintas técnicas analíticas y ensayos normalizados.

Para cumplir este trabajo los siguientes objetivos específicos fueron diseñados:

1. Diferenciar los fragmentos de los materiales de construcción usando un estudio macroscópico sistemático, auxiliado por análisis de imágenes.
2. Conocer las características de la materia prima, tanto de los adobes como de los morteros, mediante la distribución granulométrica de los diferentes componentes (matriz/desgrasantes). Además de su plasticidad utilizando los índices de Atterberg.
3. Caracterizar los elementos constructivos a través de análisis mineralógicos por difracción de rayos X.
4. Determinar la composición química de cada muestra utilizando la fluorescencia de rayos X.
5. Encontrar posibles residuos orgánicos provenientes de adiciones en las pastas para fabricación de estos materiales a través de la cromatografía de gases y espectrometría de masas.
6. Crear una base de datos para ampliar el conocimiento sobre estos materiales de construcción y así contribuir a estudios futuros.

Introducción



INTRODUCCIÓN

El trabajo que está contenido en esta tesis doctoral tiene la finalidad de contribuir para una mejora en los conocimientos sobre la tierra como material constructivo, las particularidades de las técnicas de construcción utilizadas con ese elemento y de cómo los estudios arqueométricos pueden auxiliar en el desarrollo técnico y científico en esa área.

El punto de partida está en demostrar que:

La tierra no es un material de construcción del pasado. Que hoy se sigue construyendo con tierra, y si no fuese por este material cosmopolita, abundante, gratuito y generosamente repartido sobre el globo terráqueo, la situación del hábitat de la humanidad sería aun peor que la actual, de por sí, lamentable. Sin este material humilde y sus múltiples técnicas de mejora y colocación serían mucho peores las condiciones sanitarias y menor aun la esperanza de vida de habitantes de amplísimas áreas geográficas (SALAS, 2011, p. 1).

Las construcciones hechas con tierra cruda forman parte del patrimonio cultural de la humanidad y están relacionadas con las más profundas tradiciones de todo el mundo. El hombre, en la búsqueda de refugios, además de utilizar los relieves naturales, se ha encontrado con otros materiales que podrían permitir la construcción de su hábitat de manera deliberada. Su entorno le proporcionaba varios materiales para sus edificaciones; entre éstos estaba la tierra, que se presentaba en gran abundancia. Los refugios, que eran muy rudimentarios al principio, se fueron perfeccionando a medida que evolucionaban socialmente sus moradores. En ese momento el constructor dedicaba gran parte de su tiempo a seleccionar los materiales y a descubrir las formas arquitectónicas más adecuadas a ellos (NÉSTOR, 2002).

La tecnología de arquitectura de tierra se ha ido transmitiendo oralmente por generaciones hasta convertirse en un saber popular de profundo arraigo y sólidas tradiciones. Puede ser considerada como un valioso y genuino patrimonio de los pueblos por su presencia como conocimiento tradicional; porque es reconocida por sus mismos constructores como identificada al sitio, clima y costumbres de cada sociedad, porque está ligada a ritos y creencias religiosas y paganas, porque presenta testimonios de diferentes culturas del pasado, y porque significa una posible alternativa para la

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

edificación, de interés para el equilibrio ecológico y para la protección del ambiente (ROTONDARO y KIRSCHBAUM, 1993, p. 393).

La arqueometría, como herramienta de estudios, puede ser una de las opciones para cambiar la visión errónea, que tienen algunos científicos, de la arquitectura de tierra y así mostrar su importancia dentro de las investigaciones al respecto.

La memoria de la tesis se estructuró en dos grandes bloques, primero se asientan las bases teóricas y luego se describe la parte experimental de la investigación.

El primer bloque, de fundamentos teóricos, consta de dos capítulos; el primero dedicado a la Arqueometría, empieza con una pequeña visión histórica de la disciplina y sus características. En seguida se puede observar las aplicaciones que la arqueometría consigue ejercer sobre los materiales constructivos y conocer algunas de sus particularidades que justifican su creciente importancia entre las áreas y disciplinas afines.

El segundo capítulo del primer bloque se dedica a la tierra como material constructivo. De modo sucinto se comenta sobre el desarrollo de ese elemento como material de construcción y a continuación se describen las principales características de las técnicas constructivas abordadas en esta investigación.

El segundo bloque, actividades experimentales, también consta de dos capítulos; uno describe la metodología de esta investigación y en el otro están los resultados en detalles. En el capítulo de metodología están la delimitación del área de estudio, que son yacimientos de las regiones Nordeste y Sur de la Península Ibérica, actuales Catalunya y Andalucía, respectivamente y algunas de las características geográficas e históricas de los sitios donde se extrajeron las muestras analizadas. Sigue en esa sección unas interpretaciones sobre el tema, donde se expone los logros investigativos conseguidos hasta el momento en el área. A partir de ahí se continua con una explicación de la metodología elegida y los pormenores de las técnicas aplicadas con sus resultados.

En el quinto capítulo, discusión, están exhibidas las derivaciones de la labor ejercida en las diferentes etapas de la investigación sobre los fragmentos de adobes y morteros. En ese apartado se encuentran las correlaciones de los datos obtenidos con la utilización de las técnicas aplicadas y algunas consideraciones parciales de cada tópico, en que se ha intentado revelar una previa de hallazgos importantes.

El sexto capítulo, análisis de residuos orgánicos, se propone una identificación de las sustancias utilizadas como adiciones en las pastas para la elaboración de las estructuras constructivas estudiadas.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Posteriormente en el séptimo capítulo, conclusiones, son expuestos los puntos que expresan todo lo que fue logrado en esa memoria investigativa; que pretenden demostrar la línea recogida para poder atender a los objetivos propuestos e intentar responder a las hipótesis planteadas.

Para finalizar, además de las referencias bibliográficas utilizadas como apoyo, se presenta un pequeño glosario, que busca aclarar algunas dudas sobre términos específicos y, en los anexos, se puede ver las bases de datos generadas en toda la investigación.

Arqueometría



1. ARQUEOMETRÍA

La arqueometría es una rama reciente de las ciencias aplicadas para su uso en las ciencias físicas, químicas y la información, en el diagnóstico de obras de arte de todas las épocas y estilos. Su objetivo central es ofrecer una información adecuada que sea de utilidad en la conservación y salvaguardia del patrimonio cultural como tal, por lo que constituye una disciplina de interés general en todos los países (SCIUTI, 2002)².

Ella también permite responder las preguntas arqueológicas e históricas sirviéndose de estudios científicos y técnicos sobre los restos arqueológicos (PALOMAR SANZ, 2011).

Sin embargo, la arqueometría no se utiliza para una respuesta puntual a problemas específicos, sino que estimula y permite un acercamiento interdisciplinar a distintos ámbitos de la investigación histórico arqueológica, facilitando progresos considerables en **diversos ámbitos de estudios... Actualmente, la arqueometría es una disciplina amplia y articulada en muchos sectores, cada uno especializado en un tema... y las dificultades** que hacen más lento el progreso de esta disciplina tenderán a desaparecer (FRANCOVICH y MANACORDA, 2002).

A pesar de la aparente idea de competencia entre las ramas científicas, los estudios arqueométricos constituyen un ámbito de investigación transdisciplinario en el cual convergen arqueólogos, geólogos, conservadores, restauradores, físicos, químicos, biólogos e ingenieros, entre otros, con el fin de obtener, a través del uso de técnicas instrumentales, la máxima información tecnológica, cultural e histórica acerca de los distintos materiales que componen el patrimonio arqueológico universal (WESTFALL y SERGUEI, 2006; SAIZ CARRASCO et al, 2010).

1.1. Desarrollo Histórico

El término arqueometría está vinculado a la revista *Archaeometry*, fundada en 1958 por el *Research Laboratory for Archaeology and the History of Art* de la Universidad de

² Archaeometry is a recent branch of applied sciences for use in the physical, chemical and information sciences, in the diagnosis of art Works of all epochs and styles. The goal is to offer adequate information that will prove useful in the conservation and safeguarding of the cultural patrimony. As such, it is therefore of primary **interest to all countries...**

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Oxford³ y su definición ha ido evolucionando con el tiempo en función de los contenidos de la misma. Así, entre otras **definiciones citamos "mediciones realizadas en el material arqueológico (MONTERO RUIZ, GARCÍA HERAS y LÓPEZ-ROMERO, 2007)", "Estudios científicos aplicados a la arqueología y más generalmente a los bienes culturales (FRANCOVICH y MANACORDA, 2002)" y "Aplicación e interpretación de datos en ciencias naturales en los estudios arqueológicos e historia del arte (OLIN, 1982)."** Todas sufrieron muchas críticas al considerarlas como vagas y no específicas. Sin embargo esta última definición, **"Aplicación e interpretación de datos en ciencias naturales en los estudios arqueológicos e historia del arte", es de especial relevancia porque incluye dos disciplinas diferentes en sus fines y métodos de trabajo como son la arqueología y la historia del arte.**

La línea que inicialmente siguió la revista *Archaeometry* se centra en la aplicación de los análisis físico-químicos, excluyendo así las disciplinas anteriores y cerrando marcos de otras posibles disciplinas arqueométricas (MARTÍN DE LA CRUZ, 2011). Esto también produjo una limitación del término con consecuencias tan visibles como la ausencia de investigaciones relacionadas con las citadas disciplinas en los Congresos Internacionales de Arqueometría, promovidos también desde Oxford a partir de los primeros años de la década de los 60. Estos hechos determinaron un predominio del uso del término Arqueometría asociado al análisis cuantitativo de los materiales y por tanto a su restricción conceptual en determinados ámbitos científicos. Por ello, los primeros libros sobre Arqueometría se centraron casi exclusivamente en el análisis físico-químico de los materiales. Paralelamente, **el empleo de otros términos como "Ciencia Arqueológica" o "Ciencia basada en Arqueología"** (MANNONI, 2005) más generales y por tanto más abiertos a las ciencias naturales, contribuyó a la restricción del uso del término Arqueometría.

La aparición del Journal of Archaeological Science (Journal of Archaeological Science, 2015) en 1974, que recogía propuestas para hacer una arqueología más científica y más abierta a la participación de las ciencias naturales (MARTÍN DE LA CRUZ, 2011), es un reflejo de esa tendencia. Así, en el estudio bibliográfico realizado sobre los primeros 9 años de esta revista se indicaba que a los temas biológicos, principalmente zoológicos y botánicos, se dedicaban algo más del 50 % de los artículos publicados, mientras que el análisis de materiales no llegaba al 17 %.

³El Laboratorio de Investigación de Arqueología y la Historia del Arte en la Universidad de Oxford tiene en ese periodo investigaciones que van desde el desarrollo de magnetómetros de protones para la prospección geofísica en los sitios arqueológicos y la construcción de los primeros espectrómetros de fluorescencia de rayos X y las microsondas electrónicas para el análisis de piezas arqueológicas, a través de una amplia investigación sobre magnética y datación en termoluminiscencia; a la creación del primero acelerador de radiocarbono en pequeña escala dedicado casi en su totalidad a la datación de muestras arqueológicas.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

La indeterminación de límites de esta disciplina llevó muchos autores a adoptaren la arqueometría en los títulos de sus libros centrandos sus contenidos preferentemente en metodologías específicas, como el caso del libro "Arqueometría frente a Ciencia en Arqueología", en que el propio autor afirma tenerla en cuenta solamente en los métodos físicos de análisis (LEUTE, 1987).

Por otra parte, los contenidos que se engloban en el término Arqueometría han evolucionado también en los últimos años, de este modo los Congresos Internacionales de Arqueometría han abierto sus puertas a la sección de biomateriales desde el celebrado en 1996 en Urbana (Illinois, EEUU), aunque con un predominio de análisis de ADN, de isótopos estables o identificación de residuos como resinas o productos alimenticios frente a trabajos polínicos, antraecológicos o arqueozoológicos en su vertiente paleoambiental (MONTERO RUIZ et al, 2007).

En el caso de España, los Congresos de Arqueometría también han experimentado estos cambios desde el primer Congreso⁴ celebrado en Granada en 1995, hasta el noveno⁵, en 2011; cuando incorporó en el sentido más amplio a los estudio de la arqueometría y superó fronteras siendo celebrado por primera vez en Lisboa – Portugal. En esa última edición del Congreso Ibérico de Arqueometría, además del cambio de país, ocurrieron cambios en la relación de los temas presentados. La comisión organizadora reunió tópicos considerados afines, con la intención de facilitar el tránsito entre profesionales de áreas distintas, que por ventura quisiesen reunir informaciones varias y también para atender el creciente aumento de temas, estimulado por el desarrollo de la arqueometría (VIEIRA y JOUAN DIAS, 2012). Las sesiones temáticas pasaron a ser las siguientes: Biomateriales y estudios paleoambientales; análisis de materiales, que reúne metales, cerámica, vidrio, piedra, pigmentos y etc.; técnicas analíticas y metodologías; datación; prospección geofísica y teledetección; patrimonio construido; conservación y restauración.

Los congresos ibéricos de arqueometría...son desde sus orígenes, un foro de discusión y encuentro para los grupos de investigación... son un ejemplo en el que se unen el

⁴ Desde la fundación de la Sociedad Española de Arqueometría aplicada al Patrimonio Cultural (SAPaC) en 1997, ha existido un interés creciente por la arqueometría que se ha traducido en la celebración periódica y bianual de los Congresos Nacionales de Arqueometría primero, y después, de los Congresos Ibéricos de Arqueometría desde 2003, coincidiendo con la V edición. El congreso de Arqueometría, de carácter bianual, es el foro idóneo para reunir el colectivo de investigadores del conjunto de la península Ibérica, implicados en los estudios arqueométricos y del Patrimonio Histórico, artístico y cultural (SAIZ CARRASCO et al, 2010).

⁵ La relevancia de esa ciencia se reafirma con la realización del XI Congreso Ibérico de Arqueometría (CIA) que tendrá lugar en Évora - Portugal, en octubre de 2015. Será más una reunión de investigadores que se dedican a los estudios arqueométricos y del patrimonio histórico, artístico y cultural de la península Ibérica. Su organización está acargo del Laboratorio Hércules, de la Universidade de Évora, de la Sociedad de Arqueometría Aplicada al Patrimonio Cultural (SAPaC) y de un consorcio científico del Gobierno de Portugal.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

carácter científico y tecnológico con el humanístico, arqueológico y artístico (ROVIRA LLORENS, 2008).

Los campos de actuación de la Arqueometría, en general, son la datación de restos y materiales arqueológicos; los análisis físico-químicos de materiales, incluyendo tecnología, origen y uso de los mismos; los estudios paleoambientales; la conservación y restauración; la prospección geofísica y teledetección espacial y los métodos matemáticos y estadísticos. Aunque este último campo fue cuestionado por numerosos científicos debido a que reflejaba únicamente el incremento de la cuantificación en arqueología y podría no ser considerado como aplicación arqueométrica específica.

Sin embargo, el desarrollo de la informática en la segunda mitad de los años 80 y principios de los 90 del siglo pasado produjo un gran impulso en este campo de investigación, lo que le ha permitido, desde entonces, su presentación como sección separada en los Congresos Internacionales de Arqueometría.

En la actualidad las aplicaciones estadísticas e informáticas están integradas como valiosas herramientas para el análisis e interpretación de los datos obtenidos en los otros campos de estudio. Recientemente se ha propuesto con vehemencia el campo relacionado con la conservación del material, que por su interés práctico, cada vez tiene más peso en la orientación de parte de las investigaciones actuales.

Lo importante a observar es que todo el esfuerzo para reunir investigadores con interés reales cuanto a la arqueometría demuestra que las discusiones sobre los temas novedosos vienen disminuyendo considerablemente, una vez que la actual arqueometría se torna amplia y articulada en muchos sectores. Y en muchas ocasiones el científico es llevado a probar y/o dominar técnicas de otras áreas, con la intención de reunir nuevos conocimientos y ajustar detalles que viabilicen los proyectos de investigación arqueométricas cada vez más elaborados.

Los métodos que se pueden emplear para estudiar los objetos y yacimientos antiguos y, los materiales del patrimonio histórico o cultural son muchos y están en continuo perfeccionamiento. La elección del método está condicionada por la finalidad de la investigación, por las preguntas que se formulan y por los medios económicos disponibles (FRANCOVICH y MANACORDA, 2010).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Lo que se puede ver es que se respeta esa máxima incluso en los estudios más complejos, cuidando de no sobrepasar del uso oportuno y eficiente de los métodos más indicados en la investigación propuesta.

Otro cambio significativo en la etapa de expansión de esa ciencia fue el incremento de laboratorios que trabajan la línea de Arqueometría. Si de inicio, en la fase formativa, se trataba principalmente de estudios individuales realizados por personas con intereses particulares, con la excepción de la creación del laboratorio en el Museo de Berlín en 1888, que desapareció al acabar la I Guerra Mundial, en la fase de desarrollo de la arqueometría empiezan a crearse laboratorios estables y especializados en determinados países occidentales, principalmente vinculados a museos (GOODWAY, 1991). Estos laboratorios plantean su trabajo como proyectos de caracterización a mayor escala. Entre ellos destaca la creación a fines de la década de los años 20 del laboratorio del Fine Arts Museum de Boston, del laboratorio del Louvre en 1931 y también, en ese mismo año, del laboratorio de investigación permanente en el British Museum, aunque desde 1920 existía un laboratorio temporal (CRADDOCK, 1991). A mediados de los años 30 se crea el laboratorio de etnobotánica dentro del Museo de Antropología de la Universidad de Michigan y en 1937 el laboratorio en el Instituto de Arqueología de la Universidad de Londres. Años más tarde, en 1951, se crea el laboratorio de datación por dendrocronología y C14 del Museo Arqueológico de la Universidad de Pennsylvania (MASCA, 2015).

En la década de los 50 tiene lugar la primera reunión entre arqueólogos y químicos nucleares⁶ en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton (2015) (New Jersey, EEUU), donde se plantean las posibilidades de los métodos nucleares en la resolución de problemas arqueológicos, en un intento de difundirlos a la comunidad científica norteamericana en una época de agitado debate sobre su aplicación a la industria armamentística (NEFF, 1992). La reunión trajo consigo el inicio de la aplicación de los análisis por activación neutrónica (NAA) a materiales como la cerámica y el vidrio en un primer momento, y después a monedas y pinturas entre otros. Este impulso a la investigación arqueométrica se puso en marcha desde el Brookhaven National Laboratory (2015) de Nueva York con Edward Sayre a la cabeza (MONTERO RUIZ et al, 2007), al que pronto se le unió el Lawrence Berkeley Laboratory (2015) de la Universidad de California en San Francisco.

⁶ El autor Hector Neff (1992) habla, entre otros asuntos, del encuentro sucedido en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton. Y sobre eso él informa que se trató de una reunión donde estaban arqueólogos y químicos nucleares, por ser un trabajo de interés de estos. Como aclaración de la cuestión conceptuaremos de manera breve el tema. La química nuclear es una rama de la química la cual estudia las reacciones de desintegración o transformación de los núcleos radioactivos. Y se dedica a los cambios naturales y artificiales en los núcleos de los átomos y a las reacciones químicas de las sustancias radiactivas. Mientras que la física nuclear, rama de la física, estudia las propiedades y el comportamiento de los núcleos atómicos.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

En el último periodo, a partir de la década de los 70, se generalizan en muchos países los estudios de Arqueometría, en parte con colaboraciones puntuales desde laboratorios de ciencias, pero sobre todo con proyectos de investigación estables. Podemos citar el Australian Institute of Nuclear Science and Engineering (2015), el Royal Ontario Museum en Canadá (2015) y el Laboratorio de Arqueometría Demokritos en Grecia. En ese mismo periodo se fundan en algunos de estos países las primeras sociedades y asociaciones de Arqueometría, reflejo de la creciente actividad e interés por el estudio del material arqueológico y artístico (VIEIRA y JOUAN DIAS, 2012).

En España en la década de los 60 y principios de los 70 comienzan los trabajos del laboratorio de Arqueozoología del Departamento de Prehistoria de la Sociedad de Ciencias Aranzadi de la mano de Jesús Altuna (ALTUNA, 1995; FERNÁNDEZ, 2006). En 1977 inicia su andadura el laboratorio de palinología del Instituto Español de Prehistoria (LÓPEZ GARCÍA, LÓPEZ SAÉZ y MACÍAS ROSADO, 2002) y en 1982 comienza el proyecto Arqueometalurgia de la Península Ibérica, gestionado inicialmente desde el Ministerio de Cultura en el Instituto de Conservación y Restauración de Obras Artísticas (ICROA), actualmente Instituto de Patrimonio Cultural Español (2015). El Laboratorio de Arqueozoología de la Universidad Autónoma de Madrid (2015) se crea en 1984, aunque Arturo Morales, su director, inició sus investigaciones en la década anterior. Sin embargo, no será hasta 1997 cuando se cree en España la *Sociedad de Arqueometría Aplicada al Patrimonio Cultural* (SAPaC) que organiza los Congreso Ibérico de Arqueometría hasta el momento (SAPaC, 2015).

En los países latinoamericanos la Arqueometría era hasta hace poco apenas un pequeño apartado donde se incluían tablas de valores cuantitativos facilitados por los laboratorios de física, química o mecánica, integrado con mayor o menor acierto en la discusión de ciertos aspectos de la vida de las sociedades pretéritas. El campo de aplicación estaba bastante limitado, apenas sobrepasaba la identificación de materias primas y fuentes de origen, dependiendo en gran medida de los ensayos e interpretaciones facilitados por los geólogos o químicos que trabajaban asociados a los equipos arqueológicos (VIDAL, 2007).

Tal vez la primera aplicación arqueométrica efectuada en Chile tenga por autor Junius Bird en la década de los sesenta, al datar con C14 muestras de carbón obtenidas de la cueva Fell, en el Sur de Patagonia que está ubicada en la parte más austral del Cono Sur de América (WESTFALL et al, 2006). Desde entonces, han sido numerosas y diversas las experiencias en este campo, siendo probablemente la década de los 80, el periodo en el cual la arqueometría inicia una decidida consolidación, primero a través de los proyectos de investigación del Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (2015) y luego, en la

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

década de los 90, mediante los estudios del Sistema de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA, 2015).

En México se puede mencionar los esfuerzos del Laboratorio de Arqueometría del Instituto de Física de la UNAM (IFUNAM, 2015) y el Laboratorio de Arqueometría de Occidente (LARQUEOC, 2010, 2015) que han realizado estudios de procedencia, tecnologías antiguas, uso de materiales y aspectos de deterioro y conservación de cerámicas, huesos, dientes, objetos metálicos, pinturas y manuscritos en varios trabajos (VV.AA., 2008a).

En Brasil, "hasta el inicio de los años 90, empleando métodos de la física, estaba implementada únicamente el área de la datación arqueológica, en especial utilizando la técnica de termoluminiscencia. Pero en 1992, uno de los miembros del Laboratorio de Física Nuclear Aplicada de la Universidade Estadual de Londrina (LFNA/UDEL, 2015), se involucró con las posibilidades de empleo de la tomografía en la arqueometría, así como la técnica de EDXRF (fluorescencia de rayos X por dispersión en energía) en el análisis de bronce antiguos. De esta forma, en vista de la potencialidad del área en el país, la riqueza de aplicaciones, así como el desafío científico y la belleza intrínseca de estos trabajos inter y multidisciplinares mezclando arte y ciencia, este mismo laboratorio introdujo, de manera pionera en 1994, la arqueometría y temas correlacionados entre sus líneas prioritarias de investigaciones. Su primera investigación consistió en el estudio de una selección de fragmentos de cerámica arqueológica de la colección del Museo Histórico de la UEL por EDXRF, RBS (Espectrometría de retrodispersión Rutherford) y GT (transmisión de rayos gamma)" (APPOLONI y PARREIRA, 2007).

En la Tabla 1.1 se puede ver algunos métodos de laboratorio utilizados en las investigaciones arqueométricas para caracterización de materiales.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 1.1 - Métodos de laboratorio

Características químicas	Características estructurales y físicas
Microquímica	Infrarrojos
Espectrometría de emisión	Ultravioletas
Espectrofotometría de absorción atómica	Microscopio electrónico
Espectrofotometría de emisión de plasma	Irradiación con rayos X o rayos gama
Espectrometría de masa	Tomografía
Fluorescencia de rayos X	Análisis térmico
Cromatografía	Difracción de rayos X
Pixe	Espectroscopia de Mössbauer
Análisis de aminoácidos	Radiografía de neutrones

1.2. Aplicaciones en los Materiales Constructivos

Como objeto de estudio a ser utilizado por esta ciencia y que pueda reafirmar su importancia en los procesos investigativos actuales podemos utilizar todo y cualquier material que pueda aportar informaciones de interés para determinado grupo. En el caso de esta memoria serán los materiales constructivos de tierra los argumentos utilizados para justificar esa labor científica.

...se puede especular sobre los primeros usos de la arcilla tales como las marcas de identificación tribal, o como material de construcción o refuerzo de las cabañas; ninguno de estos ha sido endurecido por el fuego (COOPER, 1999).

Los materiales duraderos elaborados o manipulados por el hombre constituyen una importantísima fuente de información, en ocasiones, única sobre la época o periodo en que se elaboran. Dentro de este contexto, los materiales constructivos han permitido a arqueólogos e historiadores la obtención de datos de enorme trascendencia en sus investigaciones. Los materiales constructivos como morteros, muros y las técnicas de construcción diversas son productos genuinamente representativos de la inventiva del ser humano, y de la evolución del nivel de sus conocimientos científicos y técnicos. Estos

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

constituyen un claro ejemplo del aprovechamiento de los recursos más accesibles o disponibles con el objetivo de resolver determinados problemas de índole constructiva (GORDILLO, 2005).

La investigación arqueométrica de los materiales constructivos abarca, además de otras vertientes de estudios, las similitudes y diferencias entre los espacios construidos, su ubicación en el entorno, su uso y las prácticas desarrolladas en cada uno. Con eso, queda claro que es importante el estudio minucioso de los elementos constructivos con intención de identificar los rasgos ambientales y culturales, sus trazos arquitectónicos, la composición de los sistemas constructivos; todo eso teniendo en cuenta los espacios concretos de interacción social: como los sitios de habitación, los espacios abiertos de trabajo, los de convivencia y los de vida cotidiana (CÁRDENAS GARCIA, 2008).

Al igual que los demás objetos arqueológicos, los restos constructivos presentan distintos planos de expresión o características intrínsecas (CASTRO-MARTÍNEZ et al, 1999; RIVERA GROENNOU, 2007). Ellos nos proporcionan información tanto en lo relacionado con su estado en la naturaleza como del proceso de extracción, explotación y alteración por parte de los grupos humanos para su posterior utilización en el crecimiento de sus poblados. Así es posible establecer las siguientes formas de expresión:

- *artefacto*, atendiendo a la dimensión como materia transformada artificialmente en bien mueble o inmueble;
- *arteuso*, refiriéndose a su dimensión de recurso natural apropiado o rechazado en el ámbito del consumo o producción tanto de alimentos como de artefactos;
- *circundato*, da información del mundo físico (litosfera/biosfera) contenido en la materia prima utilizada para la producción del objeto arqueológico.

Se comprende como expresión *artefactual* los restos constructivos en los que la materia prima fue transformada y empleada en la construcción de las diferentes estructuras que conformarían los espacios sociales desarrollados por el grupo humano como viviendas, fortificación del poblado, el campo funerario, etc. Sin olvidar de que existe una importante cantidad de sociedades humanas que utilizaron una gran diversidad de materias primas para **la construcción, razón por la cual "artefacto" se debe considerar al conjunto de las materias primas convertidas en muros, techos, pavimentos, bancos, escaleras y otros.**

Teniendo en cuenta el plano de expresión como *arteuso*, los materiales constructivos responden a aquellos recursos naturales apropiados destinados a ser transformados por los grupos sociales para su utilización. Por tanto, este nivel de expresión abarca a los depósitos sedimentarios, afloramientos rocosos y arboledas que los sujetos sociales entendieron

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

adecuados y necesarios para la fabricación de todos los elementos: morteros, mampuestos, postes y vigas, que a su vez, constituirían la materia prima que posteriormente se emplearía en la construcción de los espacios sociales anteriormente mencionados.

La tendencia natural de los albañiles es la de extraer la materia prima en las proximidades de su entorno físico o natural. También ha quedado patente que la experiencia adquirida acumulada a través del tiempo, les permitió el reconocimiento de las áreas de su entorno medioambiental como fuente de las materias primas idóneas para la producción de cada uno de los tipos de materiales requeridos y en su forma de emplearlos.

Con ese enfoque, muchos investigadores buscan revelar los tipos de hallazgos que se puede tener a través de los estudios de los materiales constructivos. Observan que las muestras de esos materiales, con el uso de las técnicas apropiadas, pueden reflejar las distintas tradiciones constructivas y los cambios tecnológicos ocurridos en función de las particularidades ambientales, de la disponibilidad de materias primas y de los contextos sociopolíticos de cada uno de los periodos (VILLASEÑOR y AIMERS, 2009).

De igual modo, se puede ver, mediante proceso de lectura y análisis de paramentos, obtener secuencias estratigráficas de construcciones históricas, que por su vez, permiten establecer cronologías relativas; que, con el apoyo de métodos arqueométricos se logra llegar a las cronologías absolutas (QUIRÓS CASTILLO, 1994; BLANCO ROTEA, 1998). Los mismos procesos se pueden utilizar para el análisis de materiales naturales, argamasas, ladrillos y estucos con sus pigmentaciones en distintas fases identificables (NOGUEIRA CELDRÁN, 2002, 2007).

También los trabajos de investigación sobre los elementos constructivos ayudan a profundizar los conocimientos sobre las materias primas que fueron usadas en el proceso de elaboración de la arquitectura monumental, añadiendo informaciones sobre las modalidades bajo las cuales estas han sido transformadas en materiales arquitectónicos en la antigüedad (LIBEROTTI y DANEELS, 2012; LÓPEZ-ARCE, 2012). Además de permitir la posibilidad de interpretación de la tecnología empleada en esos casos (HANSEN, HANSEN y DERRICK, 1994; PITARCH MARTI, 2010).

No se puede olvidarnos también del esfuerzo de varios investigadores en crear normas para los estudios e intervenciones arqueométricas en construcciones históricas, pretendiendo establecer una metodología globalizadora para ser aplicada sobre materiales antiguos (ONTIVEROS ORTEGA, 2001).

Por estas y muchas otras razones, los restos constructivos tienen su importancia destacada. Ellos pueden y deben informar sobre el estado del mundo físico y

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

medioambiental en donde los diferentes grupos sociales se desenvuelven (RIVERA GROENNOU, 2007). Con eso, dejando sus marcas históricas que son elementos de suma importancia para los estudios arqueométricos.

1.3. Algunas consideraciones sobre Arqueometría

Fue a partir de los años 90 que se inició en la arqueometría un profundo debate, que comienza en el mundo académico inglés y se fue extendiendo al resto del mundo (TITE, 2002). En el Reino Unido, como cuna de esta ciencia, la arqueometría centró su interés en la aplicación de las diferentes tecnologías para el conocimiento de los lugares de producción y de posterior distribución de los objetos de arte. Se estudia pues la producción de cerámica, las primeras etapas de la producción de vidrio en Mesopotamia y Egipto, y el comercio de lingotes de cobre a través del Mediterráneo en la Edad del Bronce. Posteriormente, se desarrolla el incipiente campo de la arqueología biomolecular, que a través del análisis de residuos orgánicos en la cerámica, de medidas de isótopos estables en los huesos humanos y el análisis de muestras de ADN antiguo y moderno de la población, aporta información para ayudar a entender los problemas de la evolución humana y la migración. En ese periodo los autores abordan los problemas arqueométricos aún sin resolver y es necesario un diálogo continuo entre los arqueólogos y la arqueometría, que se encuentra en ese periodo ralentizado por la gran aceptación que tiene esa ciencia por otras áreas. Y también quizá por ser esa ciencia un factor de interés para otras áreas que en algunas veces la designan como una de sus ramas.

Tuvo lugar, en ese periodo, una aparente discordia entre la Arqueología y la recién creada Arqueometría acrecentada por la pequeña pugna sobre la jerarquía con las áreas de conocimiento de los diferentes autores de artículos. Esa postura está en contra de la idea actual de multidisciplinaridad que debe presidir hoy el carácter de cualquier investigación aplicada (TITE, 1972, 1991, 2002).

Los factores esenciales que garantizan respuestas adecuadas a las cuestiones arqueológicas son el empleo de un enfoque integral y un diálogo sostenido entre arqueometristas y arqueólogos. Este diálogo necesario se logra mejor mediante la ubicación de arqueometristas dentro de los departamentos de Arqueología, así como la plena participación de arqueometristas en la excavación arqueológica. De esta manera los arqueometristas pueden participar, en igualdad de condiciones, en todas las etapas

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

de un proyecto desde la formulación del problema y diseño de la investigación, a la interpretación de los datos y la publicación final (TITE, 2002)⁷.

En ese momento se ha creado un impase sobre el tema y este se nos presenta de varias formas. Uno de ellos está en la percepción de cuál sería la procedencia del arqueometrista. Se de las áreas de historia y humanidades, de donde proceden generalmente los arqueólogos, historiadores del arte y afines o de las ciencias, de donde proceden los científicos (GARCÍA HERAS, 2003). El hecho es que junto con la importancia progresiva que ha adquirido la arqueometría a nivel mundial, las instituciones comienzan a reconocer la necesidad de ampliar la visión en relación a la disciplina (RUIZ ZAPATERO, 2005 y CORDERO RUIZ et al, 2006).

Como consecuencia de ese pensamiento se puede ampliar, de manera significativa, la definición de la arqueometría:

Sería una actividad interdisciplinar que exige la colaboración de las ciencias naturales y experimentales en la aplicación de técnicas científicas y la interpretación de los datos, para la optimización de los estudios arqueológicos y artísticos; que plantea con conjunto de situaciones, objetivamente no siempre controlables, formativas, institucionales, incluso personales que inciden en su mayor o menor integración en los proyectos de investigación (MARTÍN DE LA CRUZ, 2011).

La idea para todo eso es fomentar la mejoría de las relaciones entre los investigadores de las humanidades y ciencias sociales con los de las ciencias experimentales.

Existen entre estas áreas problemas de comprensión sobre el procedimiento, tiempo invertido, la proporcionalidad en la autoría y hasta la validez de las producciones científicas entre ambos grupos, porque los métodos de investigación, los equipos y hasta los resultados son distintos. La arqueometría sería el puente de comunicación entre esas áreas porque los arqueólogos desconocen los protocolos de laboratorio para el tratamiento de muestras; la terminología utilizada y, en general, esperan datos más

⁷The factors essential for ensuring that real archaeological questions continue to be answered are the adoption of an holistic approach and a sustained dialogue between archaeometrists and archaeologists. This necessary dialogue is best achieved through the location of archaeometrists within archaeology departments, with the joint supervision of PhD students and the full participation of archaeometrists in archaeological excavation. In this way archaeometrists can be involved, as equal partners, in a project at every stage from formulation of the problem and research design, through collection of samples and scientific examination, to interpretation of the data and final publication.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

concluyentes de las aportaciones de las ciencias. Por otro lado, los científicos no saben qué parte de su aportación es aprovechable, quizás más preocupados por la mejora de los procesos técnicos que de los resultados, y cómo estos puede integrarse en la mejora del conocimiento histórico, al tiempo que exigen del arqueólogo mayor precisión y control en la recogida y manejo de las muestras que luego pasarán al laboratorio (MARTÍN DE LA CRUZ, 2011).

Percibir esa realidad llevó al planteamiento de una formación más direccionada en ese campo científico de modo a impulsar la arqueometría rumbo a los conceptos más actuales (GARCÍA HERAS, 2003; RUIZ ZAPATERO, 2005 y CORDERO RUIZ, 2006). Y no se puede olvidar que la diversidad de campos con los que la arqueometría se relaciona la impide de una formación única. Todo eso viene demostrar que la arqueometría, en contra de lo que en ocasiones se pueda pensar, es un campo abierto al estudio de todas las fases de desarrollo científico y tiene un fuerte enlace tanto con la arqueología como con las ciencias en general y con la historia del arte, que por su vez abarca la pintura, la escultura y las artes decorativas (MONTERO RUIZ et al, 2007).

El arqueometrista⁸, como fruto de ese entendimiento inicial entre las ciencias, se torna pieza fundamental para forjar un nuevo tiempo en las investigaciones de ese calibre. El arqueometrista es un humanista con aspiraciones a técnico científico, pero no solo un técnico haciendo un trabajo en el que se puede construir otro; es también un científico con pretensiones a humanista (SMITH, 1982; VV.AA., 2012b). Vemos en el momento presente de la arqueometría que las fronteras entre las ciencias correlacionadas con en el tema pasan por una etapa de flexibilidad, siempre a favor del trabajo de investigación por excelencia (CORDERO RUIZ, 2006).

La visión real, lógica y rentable de todo ese proceso es la constitución de grupos interdisciplinarios universitarios de investigación, procedentes de distintas áreas de conocimiento. Esa actitud tiene la ventaja de contar con especialistas con dedicación exclusiva, con laboratorios e instrumental en funcionamiento, con los protocolos analíticos ajustados y con un ritmo de trabajo constante (MARTÍN DE LA CRUZ, 2011). Y el profesional arqueometrista, independiente de su formación inicial y de sus configuraciones curriculares; cuando transita entre las diversas áreas, está contribuyendo para la madurez de los investigadores académicos, en la percepción de las posibilidades de la arqueometría (CORDERO RUIZ, 2006; MONTERO RUIZ et al, 2007).

⁸Término acuñado por el autor Michael S. Tite.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Así la arqueometría no puede considerarse una disciplina de la arqueología, tan poco separada de ella, sino que más bien constituye una pieza básica en el estudio inter y multidisciplinar (GARCÍA HERAS, 2003). Por ello, la aplicación de instrumentación y técnicas analíticas procedentes de las llamadas ciencias experimentales, constituye un componente esencial en gran parte de la investigación científica que se lleva a cabo en la actualidad. Y muchos autores manifiestan, incluso, que en el futuro los mayores descubrimientos se harán en el laboratorio y no en el campo como había venido ocurriendo hasta ahora. Por esta razón, es importante que se considere a la arqueometría como una disciplina cada día más amplia (VIEIRA y JOUAN DIAS, 2012).

El hecho es que el arqueometrista se convierte en figura esencial en todas las etapas de los estudios arqueométricos. Así, los debates pluridisciplinarios son necesarios antes, durante y después de la realización de una excavación en la fase de interpretación de los resultados (TITE, 2002).

Con todo eso nos damos cuenta que la arqueometría se torna poco a poco una ciencia esencial en los más diferentes estudios, desde los materiales constructivos y las cerámicas hasta los metales, los pigmentos, los materiales líticos y todos aquellos elementos que puedan servir como testigos de los actos inventivos, artísticos y tecnológicos del hombre.

La tierra como material de construcción



2. LA TIERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

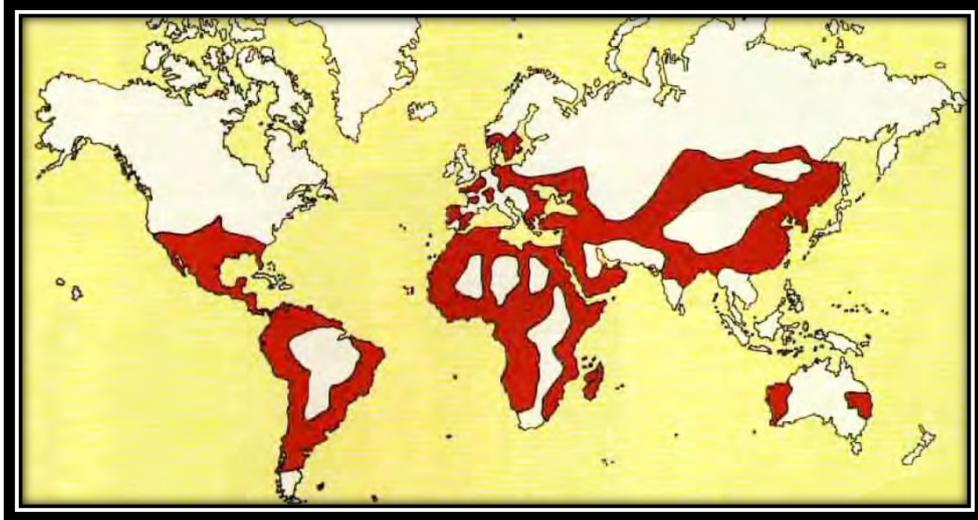
2.1. Antecedentes históricos

Los componentes de la tierra como material de construcción y la tierra misma como técnica constructiva, tanto en edificaciones de carácter austero como en construcciones nobles del estilo de murallas, castillos o fortalezas, ha estado presente a lo largo de toda la historia de la arquitectura. Su tecnología fue dominada pronto por civilizaciones muy diversas y heterogéneas como las comunidades que se establecieron en la Mesopotamia del tercer milenio antes de Cristo, las que formaron la génesis del antiguo Egipto o los **pueblos que se fueron reuniendo en torno a las "kasbahs" del norte de África y que hoy se conoce como el reino de Marruecos**. Asimismo, la arquitectura oriunda del Yemen y buena parte del patrimonio rural español de muy diversas épocas son un buen botón de muestra que ejemplifican la riqueza de esta técnica constructiva milenaria (FIGOLS GONZÁLEZ, 2006).

En los más variados climas del mundo, la tierra ha sido el material de construcción preponderante. En la actualidad un tercio de la humanidad vive en construcciones de tierra y en los países en vías de desarrollo esto representa más de la mitad de la población mundial (Figura 2.1). Ante la imposibilidad de satisfacer la demanda de la necesidad de hábitat en los países en vías de desarrollo, se torna imprescindible la utilización de materiales de construcción locales, fácilmente disponibles y de técnicas de autoconstrucción sencillas. La naturaleza es tan sabia que además de la abundancia a esos materiales los ha dotado de unas propiedades que como elementos de construcción natural adecuadamente combinados, presentan mejores cualidades que los materiales industriales como el hormigón, los ladrillos y los silicocalcáreos (MINKE, 2005). Además de eso, cuando se observa las tres condiciones básicas de la arquitectura: Firmitas, Utilitas y Venustas (VITRUVIO, 1997), se ve que estos requisitos también rigen la arquitectura de tierra (FUENTES GARCÍA, 2010).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 2.1 - Mapa de Distribución Mundial de las Construcciones en Tierra



Fuente: STULZ et al, 1993; DETHIER, 1986,1993.

Las técnicas y los vestigios de la construcción con barro datan de hace más de 10.000 años. Y muchos de estos están situados en Mesopotamia entre el Tigris y el Eufrates. Esa habilidad técnica evolucionó hasta la construcción de edificios emblemáticos como la Torre de Babel, la Biblioteca de Alejandría, o muchos de los edificios de la propia Babilonia (FONT I MEZQUITA y HIDALGO I CHULIO, 1991).

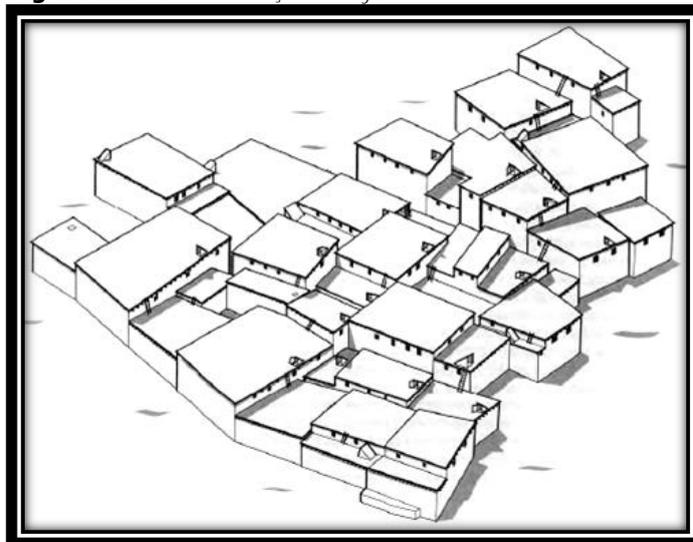
Existen otras ciudades de igual importancia que fueron edificadas con tierra. Entre ellas están Çatal Hüyük⁹ (Figuras 2.2 y 2.3) en que las casas estaban hechas con adobe y entramados de madera (FLEMING y HONOUR, 2004; HIGHAM, 1990) y las ciudades subterráneas de Turquía (PIEDECAUSA GARCÍA, 2009) y los hábitats troglodíticos (Figuras 2.4 y 2.5) de la Capadocia (TIENEO y ANTÓN, 1984)¹⁰. En el Yemen ciudades que aún perduran como Tarim, Shibam y Sanaa, donde vale la pena detenerse en el análisis de las técnicas que fueron empleadas en su construcción.

⁹ Çatalhöyük, también conocido como Çatal Höyük o Çatal Hüyük (del turco çatal: 'tenedor', y höyük: 'túmulo'), es un antiguo asentamiento de los periodos Neolítico y Calcolítico, siendo el conjunto urbano más grande y mejor preservado de la época neolítica en el Oriente Próximo. En su apogeo este asentamiento llegó a cubrir 13 hectáreas. está ubicado al sur de la península de Anatolia, en la planicie de Konya, cerca de la actual ciudad de Konya (antigua Iconium) y aproximadamente a 140 km del volcán Hasan Dağı, en Turquía.

¹⁰Ciudad subterránea que llegó a albergar más de 10000 personas, en 18 pisos que llegaron a cubrir una superficie de 4 Km², abandonada por los bizantinos tras el conflicto con los árabes.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 2.2 - Ciudad de Çatal Hüyük¹¹



Fuente: SOJA, 1945.

Figura 2.3 - Catal Hüyük (Baños y Habitación)



Fuente: SALAZAR MARTÍNEZ, 2011

¹¹ Vista pictórica de Çatal Hüyük por Grace Huxtable (fuente: James Mellaart, Çatal Hüyük, Londres, Thames y Hudson, 1967, p. 62, reconstrucción esquemática de una sección del nivel IV con casas y santuarios elevándose en terrazas encima de los mismos. (SOJA,1945)

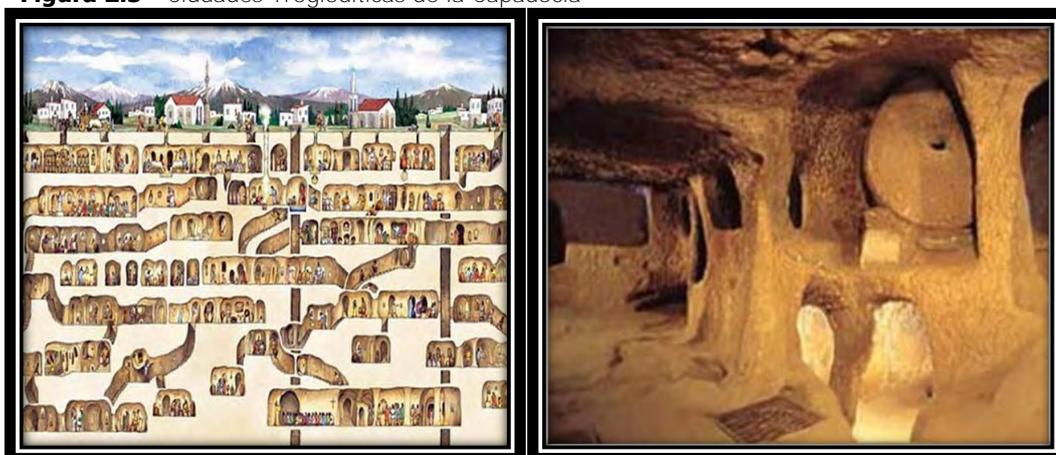
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 2.4 – Capadoccia (ciudad baja)



Fuente: YILDIZ, 2015.

Figura 2.5 - Ciudades Troglodíticas de la Capadocia



Fuente: BARBETA SOLÀ, 2002; YILDIZ, 2015.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

En la antigua ciudad amurallada de Shibam¹² (Figuras 2.6 y 2.7), existen 500 fincas hechas de tierra donde en algunos edificios de hasta dieciséis plantas llega a alcanzar los 40 metros de altura. Tras la destrucción de Shabwa (s. IIIa.C.), capital de Hadramaut (contemporáneo del reino de Saba) en la época de la Ruta del Incienso, le sucede Shibam (AD- DABABI, 2007; OCPM, 2015b; UNESCO, 2015).

Figura 2.6 - Ciudad amurallada de Shibam



Fuente: UNESCO, 2015.

Figura 2.7 - Vista panorámica de la ciudad de Shibam



Fuente: YÁVAR, 2012.

¹²Shibam está situada en el valle de Hadramaut y es poblada por cerca de 7.000 habitantes. Existen datos de su existencia desde el siglo II a.C. Su arquitectura con edificios de varios pisos, de ladrillos de tierra, separados por un laberinto de callejones estrechos, le vale el sobrenombre de *Manhattan del desierto* o "la más antigua ciudad de rascacielos del mundo".

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

La ciudad de Arg é Bam¹³ en Irán (Figuras 2.8 y 2.9), tiene partes de sus construcciones que revelan antigüedad hasta el periodo Aqueménida (siglo VI al IV a.C.) (UNESCO, 2007; OCPM, 2015a). Toda su edificación interior, incluido el castillo, se construyó con ladrillos de una mezcla de arcilla, fango, paja y hojas de palmas, y se los cocía al sol. Tendría 30 torres circulares que, junto con un grueso muro de fango, defendieron de invasiones a esta milenaria construcción (FONSECA, 2004).

Figura 2.8 - Ciudad de Arg é Bam



Fuente: GRAY, 2007.

Figura 2.9 - Panorámica de la ciudad de Arg é Bam



Fuente: GRAY, 2007.

¹³ La ciudadela de Arg-é Bam fue la mayor estructura de adobe del mundo. Su construcción se remonta con anterioridad al año 500 a. C. y continuó siendo habitada hasta 1850. No se sabe con seguridad la razón por la que fue abandonada.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

En Asia la Gran Muralla de China se construyó hace 4000 años, inicialmente casi todo con tapial y posteriormente fue enchapada con piedras naturales y ladrillos, dándole la apariencia de una muralla de piedra. Aquí se puede destacar los miles de viviendas excavadas, que aún perduran por toda la China, o las actuales viviendas rurales de tierra como en la región de Kunming (DETHIE, 1993; NANCARROW, 1990).

Los más antiguos vestigios encontrados de construcción de tierra en la región datan de 7.000 a.C. en el Himalaya – Karakoram. Y en el Tíbet destacan construcciones emblemáticas como el Palacio del Dalai-Lama, ejecutado a partir de las técnicas del adobe y el tapial. En esta zona, ya se puede ver tres tipologías constructivas: estructuras mixtas de entramado de bambú relleno de barro; el Tapial y en menor medida el adobe (DETHIE, 1993; AUZIAS y LABOURDETTE, 2009).

La Arquitectura sudanesa va íntimamente ligada a los grandes imperios africanos de Mali, de los Songhay, de los Bobo, los Dogon, los Sénúfo y los Bozo, relacionados comercialmente e indirectamente culturalmente con las culturas mediterráneas, del Magreb y de los Faraones egipcios (BARBETA SOLÁ, 2002). Se puede ver como ejemplo de construcciones la gran mezquita de Djenne (Figura 2.10), en Mali, que está construida con gruesos muros de barro siguiendo el estilo arquitectónico sudanés característico del Sahel, la región semidesértica al sur del Sahara (CABRERA et al, 2000; SHULMAN, 2003).

Figura 2.10 -Gran Mezquita de Djenne

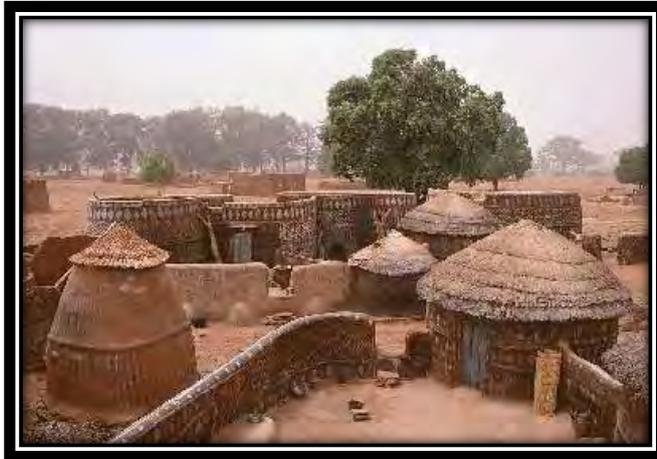


Fuente: SHULMAN, 2003.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

En Camerún, en Mali y en Ghana, el hábitat rural se encuentra agrupado por concesiones encerradas en un muro que delimita un patio interior, llamado Tata (Figuras 2.11 y 2.12). Cada choza tiene un uso específico e independiente. Cualquier modificación de la familia implica una remodelación y el modo de construcción en unidades independientes sin una forma rígida se adapta perfectamente a cualquier cambio. Las chozas son circulares, pequeñas, de 10 m² como máximo y una altura entre 2 y 3 metros. La construcción se hace con pasta de barro, amasada con los pies, y luego se moldean a mano bolas de 15 a 20cm de diámetro, y de 3 a 4 Kg (SINAMAI, 2008).

Figura 2.11 - Vista de construcciones de Ghana (Tata)¹⁴



Fuente: SHULMAN, 2003.

Figura 2.12 - Vista aérea de un Tata - Mali



Fuente: BARBETA SOLÁ, 2002.

¹⁴ Las casas de los Kassena, en Burkina Faso, son viviendas de familias extendidas que siguen el tipo de vivienda corral muy común en toda África negra. En un Tata un murete perimetral encierra y une distintas habitaciones redondas, cuadradas o con forma de riñón, en torno a las que se forman patios. La decoración exterior que las caracteriza está realizada por las mujeres de la aldea y contienen símbolos que siguen antiguos rituales.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Al otro lado del gran Sahara, un gran patrimonio construido en Tierra, formado principalmente por las Kasbahs distribuidas por los valles del Dadés. Y desde Ouarzazate hasta MarraKech (Marruecos) y más al Norte Fez, se encuentran ciudades con murallas edificadas en tapial, tecnología que aún se emplea para las viviendas (VV.AA., 2000). Aparte del hábitat individual de pocos pisos, destacan en Marruecos las aldeas colectivas fortificadas, los *qsar o igherm* (berebere) (Figuras 2.13 y 2.14), ejecutadas con tapial y con fachadas decoradas con adobes (ALFARO, 2006).

Figura 2.13 - *Qsar* o *qasba* en Marruecos.



Fuente: ALFARO, 2006.

Figura 2.14 - Detalles de un Qsar



Fuente: ALFARO, 2006.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

En Túnez, igual que en Capadocia, se encuentra la construcción de tierra excavada. Este tipo de edificaciones se encuentra en la región de Matmata, donde aún perduran y son habitadas muchas viviendas enterradas (Figura 2.15). Éstas fueron excavadas en un terreno compuesto principalmente de *margas* (mezcla de arcillas y piedras calcáreas). Las estructuras fueron excavadas en forma de bóvedas y arcos sin ningún tipo de refuerzo, a parte de una encalada, algo lógico ante las buenas características mecánicas a compresión intrínsecas a la tierra (GOLDFINGER, 1995; PIEDECAUSA GARCÍA, 2011).

Figura 2.15- Construcción de tierra excavada en Matmata, Túnez



Fuente: LLOPIS VERDÚ et al, 2011.

El uso de la tierra como material constructivo se difunde primero a Egipto para continuar su expansión al lejano Oriente y pasando a Europa a través de Grecia y Roma. La técnica de construcción de tierra pisada remonta su origen a las civilizaciones caldeas y asirias de donde pasó a la cuenca del mediterráneo (FUENTES GARCÍA, 2010).

En la Europa mediterránea la Construcción con Tierra se distribuyó desde Occidente por la colonización árabe y por Oriente nos la encontramos desde las costas del Egeo (entramado de adobe), en las fortificaciones micénicas o en el Palacio del rey Minos en Cnossos, del 2000 a.C. También en las culturas posteriores se continúa utilizando, como en el templo de Hércules (en Atenas), en Cartago, en el hábitat popular de Roma e incluso más tarde, en la Galia romana (Lion, Francia). Se puede señalar aquí que los arquitectos, hasta bien poco tiempo, no estaban acostumbrados a prestar atención a los materiales

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

considerados “pobres”. Por eso, destruyeron una buena parte del testimonio de ese tipo de técnica constructiva (BASSEGODA NONELL, 1984; DETHIE, 1993).

El peso cultural trajo a Europa la tradición constructiva de tierra a través de los árabes y romanos (sobre todo, el entramado y el tapial), razón por la cual un porcentaje importante del patrimonio arquitectónico en este continente está ejecutado en Tierra, incluso en los Países Escandinavos como Suecia, Noruega, y Dinamarca (BARBETA SOLÁ, 2002).

En Italia, el uso del adobe como material constructivo queda limitado a dos únicos fines: la defensa (muralla urbana) y la habitación (vivienda rural o urbana).

En Francia hay un importante patrimonio construido en tapial, tanto en medio rural como urbano localizado principalmente en las regiones Dauphiné y del Aubergne. Los suelos de esa región son los más propicios para la realización de excelentes tapias. Esta técnica fue practicada hasta los años 50. Y el patrimonio arquitectónico hecho con esta técnica cubre varias tipologías: cercados y granjas, casas burguesas y castillos, iglesias, fábricas textiles y ciudades obreras, escuelas y ayuntamientos (BARDOU, 1981).

En el valle del Garona, zona fronteriza entre España y Francia, se encuentra una arquitectura de adobe de buena calidad. Y en la región de la Champagne existe una variante original denominada “*carreau de terre*” (MINKE, 2006).

En las regiones con menos recursos se encuentra frecuentemente edificaciones **construidas a partir del entramado “le torchis”** (EUFEMIA SOSA, 2003). De forma más esporádica, en el hábitat rural, quedan algunos testimonios de la utilización de la técnica del *Bauge* o *Masse que es una bola* o adobe informe, también denominado en Inglaterra con el nombre de Cob (STRIKE, 2004). **Se puede destacar la ruta “tour de la terre”, desde el ecomuseo Nord-Dauphiné para visitar antiguas villas construidas en tierra** (VILLEFONTAINE, 1987).

En Latinoamérica existieron construcciones de adobe en casi todas las culturas precolombinas. La técnica del tapial era conocida en algunos lugares y en otros llegó con los conquistadores. En esa región vamos ver una la tecnología andina precolombina, llamada pared de Mano o bollos de barro. Esta técnica se utilizaba para construir murallas en tongadas de 80 cm, muy parecida a la técnica del Zabout en Yemen. Las dos eran estructuras piramidales, que a veces se mezclaban o encofraban con piedra (BARBETA SOLÁ, 2002)¹⁵.

¹⁵Podemos observar, que se producen paralelismos en las técnicas utilizadas en diversos lugares del Planeta. Antes de la intrusión del tapial a través de la colonización en Latinoamérica, ahí ya se había utilizado el adobe, que aparece entre el -500a.C y -600A.C, o la quíncha, e incluso bajorrelieves de tierra, que aún perduran en la ciudad andina Chan Chan, la capital del reino Chimú, Trujillo, Perú.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

En México, el centro de la Pirámide del Sol en Teotihuacán (Figura 2.16), está construido por 2 millones de toneladas de tierra apisonada (tapial) y su construcción fue entre los años 300 a 900 (FONT i MEZQUITA, 1991).

Figura 2.16 - Pirámide del sol - México



Fuente: ALFARO, 2007.

En el nordeste de Argentina, en la región de Cachi, se encuentran construcciones de tierra, especialmente de adobe, con cubiertas de tierra y paja. Y en Guatemala, en la ciudad de Antigua el 75% de las viviendas son de adobe y también tapial (VIÑUALES, 1993).

La técnica del tapial y el concepto de arquitectura de tierra prácticamente llegaron con los conquistadores de las nuevas tierras en las Américas. Por todo el país, donde la piedra era de difícil extracción, prevaleció la arquitectura de tierra cruda mediante varias formas de construcción (SOUZA, 1996). En Brasil hay inúmeras fincas antiguas, construcciones centenarias y un gran número de iglesias, construidas con tierra, que pueden ser encontradas, en días de hoy, en perfecto estado de conservación (Figura 2.17 y 2.18). En ese país, donde las construcciones con tierra constituyen la gran mayoría de la arquitectura colonial, tuvo el proceso constructivo como herencia segura de los portugueses y africanos, una vez que no se tiene noticia que los indígenas tuviesen empleado la tierra como material de construcción antes de ese período (BORGES DOS SANTOS y RODRIGUES, 2002; MILANEZ, 1958).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 2.17 - Casa de tapial en São Paulo - Brasil. Antigüedad de 250 años



Fuente: BORGES DOS SANTOS y RODRIGUES, 2002.

Figura 2.18- Construcciones coloniales en adobe - Ciudad de Ouro Preto



Fuente: acervo propio

Actualmente, la tierra, considerada por algunos como material “pobre” para la construcción (MINKE, 2001), se encuentra como elemento de gran interés para investigaciones en instituciones de prestigio mundial. Con eso se puede ver que desde finales del siglo pasado ha crecido la conciencia arquitectónica creando un movimiento que combina la construcción de tierra con una mayor sensibilidad medioambiental.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

2.2. Península Ibérica

Aun que muchos autores han dicho que en España la arquitectura en tierra se introdujo por los árabes, sea en adobe o tapial, otros los contestan con hechos e fuertes razones:

...la tierra ha sido usada en todos los puntos de la península desde los tiempos más remotos, así como al otro lado del estrecho, en casi la totalidad del norte africano, muchos siglos antes de que llegaran a estas zonas las gentes musulmanas... (ARELLANO,2005).

Ni podría ser de otro modo, pues en todos los lugares del mundo se ha visto que:

...los materiales de que van a estar hechas las casas van a ser aquéllos que se den en los propios lugares. Se van a aprovechar, así, las tierras arcillosas para confeccionar el tapial, los terrenos rocosos para extraer sillares y, los bosques, que proporcionarán la madera que dará ocasión a las cubiertas, puertas... (SANCHEZ SANZ, 1977).

Lo que se puede observar es que la edificación de viviendas utilizando la tierra como material de construcción está muy claro y definido históricamente. Son construcciones donde prevalecían los materiales disponibles en el entorno inmediato, las técnicas constructivas se centraban en la trasmisión oral del conocimiento y la cultura local, y los hogares así contruidos respondían a las reales necesidades y ambiciones de sus habitantes. En la Península Ibérica no podría ser diferente. Las construcciones en tierra fueron impregnadas por todas las culturas de los pueblos que en ella se establecieron. Portugal y España tuvieron influencias muy próximas en cuanto a las construcciones en tierra cruda, como se puede ver en la Figura 2.19.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 2.19 – Distribución espacial de construcción en tierra en la Península Ibérica



Fuente: SÁNSHES SANZ, 1977; TAVARES, 1992

Además del túmulo neolítico de La Velilla (Figura 2.20) en lo cual se encuentra un perfecto encofrado de tierra cuya datación probable es de hacia el 3000 a.C. (ZAPATERO MAGDALENO, 1990), hay pocos yacimientos que presentan distintos modos de edificar con arcilla.

Figura 2.20 - Dolmen de la Velilla

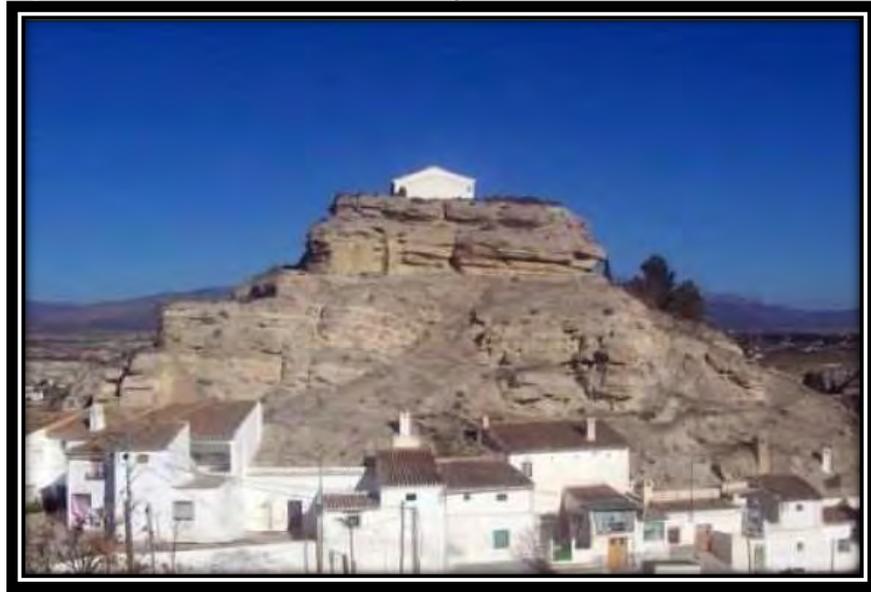


Fuente: ZAPATERO MAGDALENO, 1991.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Se ha visto adobe ya en el Calcolítico, en el Cerro de la Virgen de Orce (Figura 2.21)(SÁEZ PÉREZ, 1986) así como en el siglo X a.C. en el poblado de Soto de Medinilla; tapial, en el Cerro de la Encantada, en Granátula de Calatrava (2.22) (SALAS, 1985; ROMERA, ROMERO y MARTÍN, 2014), hacia el 1350 a.C. Y muchos otros lugares exhiben muros de barro en los cuales no es tarea simple precisar la técnica constructiva, como dijo Díes Cusí, que los denomina "muros macizos de tierra" (DÍES CUSÍ, 2001).

Figura 2.21 – Yacimiento Cerro de la Virgen de Orce



Fuente: FERNÁNDEZ y SALCEDO, 2007.

Figura 2.22- Yacimiento Cerro de la Encantada



Fuente: SÁNCHEZ y GALÁN, 2004.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Del periodo Neolítico fue identificado un conjunto habitacional en el distrito de Faro, cerca de Alte, más concretamente en Quinta do Freixo – Portugal, que presenta vestigios de estructuras redondeadas compuestas por piedras sobrepuestas, fundaciones y mortero de tierra (CORREIA, 2007).

Muy frecuente fue el empleo de barro sobre mallas vegetales de diferente diseño, tal como se ha visto en La Hoya Quemada (BURILO y PICAZO, 1986).

Las construcciones del periodo ibérico (sec. VI - II a.C.) son preferentemente de tierra, mezclada con tejidos vegetales en adobes, revestimientos y techos, y sin aditivos en suelos y enlucidos (FERRER GARCÍA, 2010), bien como material básico para la construcción de hornos, bancos y otras estructuras utilitarias del hábitat. Esto se debe a que es un material muy abundante, de fácil manoseo y buen aislante térmico, aunque, por otra parte, exige continuas labores de mantenimiento, dado que sufre rápido deterioro (SÁNCHEZ GARCÍA, 1995).

Cuanto al material base, o sea, la tierra,

...se constituye de sedimentos que afloran en el entorno inmediato a los asentamientos y que no existe variación alguna en la tierra empleada para los distintos elementos constructivos (BONET, RUBIO y DÍES, 2000). Son utilizados directamente y en relación a ello, cabe señalar que estudios sedimentológicos de elementos estructurales de asentamientos de la edad del Bronce (II milenio a.C.), han podido demostrar que, aunque no existe transformación, sí se da un alto grado de selección de los sedimentos naturales según el uso previsto (CAPEL MARGARITO, 1977; RIVERA GROENNOU, 2007).

El adobe es el elemento característico de la arquitectura del barro ibérica (SÁNCHEZ-GARCÍA, 1997). Su uso se ha documentado puntualmente desde el Calcolítico (VELA COSSIO, 2003), aunque para autores como (SÁNCHEZ-GARCÍA, 1997) no existen pruebas concluyentes de su introducción en la arquitectura –al menos en el área valenciana– con anterioridad al Bronce Final, si bien el mismo autor cita su posible uso en el Bronce Tardío en Cabezo Redondo (SÁNCHEZ-GARCÍA, 1995).

Un factor importante para mayor desarrollo de la construcción con tierra fue la escasez de piedra en el terreno (CERDÁN, IBÁÑEZ y VICENTE 1993), y por eso este fue un elemento complementario en la arquitectura del barro de época ibérica (FERRER GARCÍA, 2010).

Más tarde, la península sufrió dos grandes influencias: las presencias griega y fenicia. La primera en la zona costera catalana y la segunda en el sur (AGUDOS, 2006).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Cerámicas micénicas halladas en Llaneta de los Moros o Purullena (ARELLANO, 2005; PRIEGO, 2009) y otros yacimientos de Andalucía demuestran que entre los siglos XIV y XIII a.C. mercancías del mediterráneo oriental llegaban hasta la península. Más tarde, estos productos pasaron a ser traídos por los fenicios, cuya habilidad constructora nos fue informada por Heródoto y otros autores (acuérdesse la petición hecha por Salomón a Hiram, rey de Tiro, para que le enviara operarios que realizaran con su trabajo la magnificencia del Templo) (BIBLIA SAGRADA, I Reyes, V 1-18).

La presencia fenicia en la Península Ibérica es muy anterior a la de los griegos (BLÁZQUEZ MARTÍNEZ, 1988). Un ejemplo claro de esta presencia: las excavaciones muestran que en estas zonas del Mediterráneo no se utiliza la teja como remate del edificio, típica de los griegos, sino la terraza, rasgo típico fenicio (DÍES CUSÍ, 2001). Otro dato es la regularización de las plantas en las viviendas que van surgiendo allí donde la presencia oriental se consolida. Los edificios van pasando de ser circulares a desarrollar trazados cuadrados o rectangulares, más adecuados para su uso como almacén de mercancías o como lugar de trabajo. Pero hay más todavía: el uso de la cal en la construcción, primero sólo como lechada, luego como mortero y revoco (ARELLANO, 2005). Y, aunque no se pueda todavía probarlo, el largo uso del tapial en norte de África por los fenicios sugiere que tengan sido ellos a traer esta técnica hasta la península (AGUDOS, 2006).

Hay autores que observan un mayor empleo del adobe en zonas del mediterráneo occidental durante la presencia griega en ellas (CHAZELLES, 2000; GUILLAUD, 2003).

Cayó a los romanos extender una novedad técnica: el mortero. Realizaron estos con la ceniza volcánica de la región Pozzuoli, en las proximidades del Vesubio. Cuando se muele finamente ese material y se mezcla con cal, agua y arena producían un mortero fuerte y duradero, llamado *puzolana*, proporcionando una mayor rigidez a los edificios y permitiendo la construcción de grandes estructuras en las aceras o pisos (crecimiento vertical). El ingeniero y arquitecto romano Vitrubio, que vivió en el siglo I a.C., ha descrito cuatro tipos de puzolana (negro, blanco, gris y rojo) y sus usos (MURTA, 2008).

Pero, sin duda la influencia más fuerte y duradera fue de los musulmanes. Los ejemplos abarcan desde los modelos de viviendas y edificios auxiliares rurales definidos a partir de Edad Media hasta las murallas y palacios que utilizaban muros de tierra en el marco de la arquitectura histórica (MALDONADO y VELA-COSSÍO, 2011). Y, si no fueron los introductores de la construcción en tapial, han sido sus más importantes propagadores (FERREIRA, 2012).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Los musulmanes implantaron en Portugal una tipología de habitación específica, que consistía en la construcción de una base de piedras, sobre la cual se edificaba la pared de tapial, con una espesura de 50 cm aproximadamente (CORREIA, 2007).

La construcción en tapial en Portugal fue hasta, aproximadamente, a los años 50, la técnica constructiva más utilizada, especialmente en el sur del país, en regiones como Alentejo, Ribatejo e Algarve. Era también bastante común la edificación en adobe, técnica utilizada hasta las décadas de 60 y 70, la cual era más frecuente en zonas de aluvión que poseían tierra más arcillosa (FERREIRA, 2012).

La arquitectura de tierra en general ha estado presente desde épocas muy tempranas en la tradición constructiva de la Península Ibérica, y su valor es evidenciado por el grado de conservación de estas estructuras y su perfecta adaptación con el medio ambiente (AA.VV. 2012a).

Asimismo, a principios **del siglo pasado empezó a ser despreciado como “técnica primitiva” y “material pobre” (AGUDO, 2006)**, llegando casi a desaparecer unas décadas después (FONT y HIDALGO, 2011). Este fenómeno se produjo principalmente debido al desarrollo industrial y la introducción de nuevos materiales, que progresivamente fueron sustituyendo los sistemas constructivos tradicionales en tierra por considerarlos técnicamente inferiores y obsoletos (CAMPAÑÁ, 2014).

Hoy, no obstante, se han visto intentos de salvar y revalorar estos trabajos:

Se puede especular en el tiempo que invirtieron en pensar y en construir sus edificios, sean del tipo que sean. La sabiduría que emplearon para utilizarlos materiales existentes en cada zona y el respeto que tuvieron hacia el medio ambiente; proyectando cada detalle para no despilfarrarla energía que no tenían, pero también la de enclavar sus construcciones teniendo en cuenta el entorno que tenían a su alrededor.

No se puede permitir que la falta de tiempo, las nuevas modas y los oficios que se pierden, nos oculten la visión y nos impidan valorar y conservar todo este tesoro, que sin ser en muchos casos Patrimonio del que se preocupan las administraciones en proteger, sí es patrimonio, y además deber nuestro conservar en el mejor estado posible, para que las nuevas generaciones que vienen también lo conozcan y lo transmitan (CERDÁN et al, 1993).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Muy despacio, estos esfuerzos han empezado a dar frutos.

En el final de los años 80 la construcción en tierra en Portugal empezó a reaparecer lentamente, en especial en el medio rural. Surgió, entonces, una concientización del valor del patrimonio construido en tierra, para lo cual fueron decisivas algunas iniciativas que tuvieron lugar en ese periodo, como la VII Conferencia Internacional sobre el Estudio y Conservación de la Arquitectura de Tierra que ocurrió en Silves, la cual sensibilizó el pueblo sobre esta temática, llegando mismo, más tarde, a realizar un inventario del **patrimonio edificado en tierra**, intitulado "*Itinerários da Terra – Inventariar o Património de Arquitectura em Terra. Contributo para um Inventário no Conselho de Silves*" (ALEGRIA y FRAGUEIRO, 2002).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

2.3. Estudio del adobe

2.3.1. Introducción

La construcción en adobe es por excelencia un tipo de arquitectura vernácula, es decir, una arquitectura que se apoya en los conocimientos de generaciones anteriores transmitidas de modo tradicional, generalmente por vía oral. Se apoyan, así mismo, en el conocimiento empírico y en la experimentación y son proyectos que aprovechan los materiales del entorno inmediato de tal manera que estos, en todo momento, puedan ser **devueltos sin riesgo de contaminación económica del suelo... El adobe es un material portador de cultura** (JOURDAIN, 2011).

El estudio del adobe interesa como una evaluación consistente sobre una tipología constructiva adecuada para casi todas las regiones. Como una de las técnicas de construcción más antiguas, el adobe puede relatar mediante investigación, la evolución de un poblado o territorio, evidenciando avances tecnológicos que reflejan las demás acciones ocurridas en la región por varios periodos.

Poner en valor las construcciones de adobe, traer evidencias históricas, características de la técnica y aplicaciones como material de construcción serán puntos abordados en ese apartado. Claramente no se estará agotando las informaciones sobre el tema por tratarse de objeto con varias vertientes para investigaciones.

2.3.2. Qué son los adobes

Masa de barro mezclado a veces con paja, moldeada en forma de ladrillo y secada al aire, que se emplea en la construcción de paredes o muros (DRLE, 2010).

El adobe fue utilizado en diversas partes del mundo, especialmente en las regiones calurosas y secas (Figura 2.23). Y con la industrialización en el siglo XIX, las técnicas en arquitectura de tierra fueron, poco a poco, siendo abandonadas. Restando a las personas de pocos recursos el uso de esas técnicas, además del adobe.

Figura 2.23 - Ruinas de Jiaohe (Xinjiang, China)¹⁶



Fuente: UNESCO, 1999.

La palabra adobe es de origen árabe. Ellos pronunciaban esta palabra como *tūba* = ladrillo y *tūb* en plural. Al igual que muchas palabras que empiezan con *al-*, esta palabra pasó del árabe al castellano durante los 700 años de ocupación musulmana de España, como *al-tūb*. De ahí se transformó *attub* y posteriormente a adobe (ETMADOBE, 2010). En castellano se mantuvo para diferenciar al ladrillo crudo del cocido. Pero mucho antes de esta palabra ser utilizada en la lengua castellana, ya era familiar a otras hablas peninsulares. En portugués como *adobe* y *adobo*, en catalán y valenciano *tova*, si es grande y *tovot* se es más pequeño. Y en Murcia se usa la palabra *atova* (BAROJA, 1998).

¹⁶ Las ruinas de la ciudad china de Jiaohese encuentran entre las construcciones de adobe más antiguas y mejor conservadas. No obstante, el clima seco y arenoso de la región supone una amenaza para su protección. Esta antigua ciudad fue capital del estado de Cheshi del Sur hace más de 3.000 años. Está ubicada en un valle a 13 kilómetros de Turpan, en el este de la República Autónoma de Uigur de Xinjiang, en la antigua Ruta de la Seda. Tiene cerca de 1.650 metros de largo y 300 de ancho. Fue destruida en el siglo XIII durante una guerra.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 2.24 - Producción de adobes en Ait Benhaddou



Fuente: PAIVA, 2013.

Figura 2.25 - Fabrica de adobes en Sheikh Zayed – Gaza



Fuente: PAULA, 2014.

Etnológicamente el "adobe es el ladrillo por cocer, *dixose assi*, atento que la tierra de que se hace se adoba primero y se sazona; lo cual en latín se llama *temperamentum*". Y lo diferencia del ladrillo en que "ultra de ser grosero y mezclado con paja se deja al sol y no se cuece en un horno; y así se llaman comúnmente *later crudus*". Otras veces está definido como del Árabe *atot*, ladrillo o cuerpo formado con tierra arcillosa a veces mezclada con cal, paja, arena, estiércol, etc. para darle consistencia (COVARRUBIAS OROZCO, 1611).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

El adobe es, quizá, el elemento más conocido de la arquitectura de tierra y el más universal. Se puede encontrar en todas las zonas geográficas y en todas las épocas (MONJO CARRIÓ, 1998). Aparece ya en el libro del Éxodo (1, 13) al castigar el Faraón al pueblo israelita a que fueran ellos a buscar la paja para los adobes. Del mismo modo, *La Historia Natural* (PLINIO SEGUNDO, 1995), hace referencia a la construcción en el siglo I de edificios con ladrillos crudos, citando que en ciertas comarcas de la Bética, es decir, en el ámbito de la Baja Extremadura, se hacen ladrillos que, ya secos, flotan en el agua; su materia es una piedra porosa, excelente cuando se la puede amasar (RODRÍGUEZ, 2005).

Fueron encontrados en Turquestán – Rusia construcciones de adobes que datan del 8.000 al 6.000 a.C. y en el norte de Egipto aun pueden hoy verse estructuras monumentales de 3.200 años de antigüedad hechos con muros de bloques de tierra. Además el arte de construir bóvedas y cúpulas con adobes (Figura 2.26) y sin encofrados se extendió mucho en las culturas antiguas (FUENTES GARCÍA, 2010).

Figura 2.26 - Torres del Silencio¹⁷ (Iran)



Fuente: ANRI, 2007.

El adobe puede ser tratado de un segundo paso en la evolución de las técnicas constructivas de tierra después del tapial ya que en la imitación de la naturaleza, primero se buscaría la obra monolítica y después, por facilitar el trabajo, la pieza (mampuesto)

¹⁷ Torre del silencio ("dajmeh" en persa), a unos 15 kms de la ciudad de Yazd. En dos colinas se alzan sendas torres que sirvieron como lugar de inhumación. Los cadáveres se exponían en lo más alto hasta que los buitres los devoraban, más tarde, los huesos eran arrojados en un pozo situado en el interior de la torre. En la llanura, hay varias construcciones de adobe que servían para las distintas ceremonias previas al entierro aéreo.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

prefabricada. No obstante, no se conoce datos históricos concretos en ese sentido (MONJO CARRIÓ, 1998). La utilización de esta técnica en lugar de tapial depende, además de otras cosas, fundamentalmente, de las posibilidades económicas y también de los tipos de tierra disponibles, el tiempo de ejecución previsto, las características de la obra a levantar y los operarios (RODRÍGUEZ, 2005). Sin embargo, sí es evidente que su presencia es más universal e incluso los tratadistas más antiguos lo incluyen entre las técnicas normales de construcción como un tipo más de ladrillo, en este caso no cocido al fuego sino simplemente secado al sol.

Mientras tanto, el adobe, mismo teniendo su técnica de elaboración y uso extendidos por todo el mundo (FUENTES GARCÍA, 2010), aún es considerado, por algunos autores, como un sistema más pobre que el tapial, y por eso, erróneamente, visto como una técnica usada solamente en las edificaciones más modestas y de pequeñas proporciones, levantadas casi siempre por el propio futuro ocupante, de manera personal y exclusiva, contando como mucho con la ayuda de su propia familia (RODRÍGUEZ, 2005).

La técnica para su fabricación consiste en la elaboración y uso de bloques paralelepípedos rectangulares de tierra secada al sol, obtenidos a partir de sedimentos, tejidos vegetales cohesivos y/o cantos y gravas, empastados con agua y amasados, a los que se les da forma con un molde de madera.

El material utilizado para elaborar los adobes debe tener cualidades adecuadas para su uso, tales como ser lo suficientemente plástico para poder moldearse, poseer una cohesión que no altere los cambios de temperatura y humedad (estabilidad) y tener un peso no excesivo. Características éstas que se derivan fundamentalmente de los rasgos texturales del material base y de su porosidad. Así, son necesarios porcentajes de arcilla suficientes para dar plasticidad y cohesión a la masa, aunque no deben superar determinadas proporciones, ya que esta fracción sufre variaciones volumétricas con los cambios de humedad que podrían llegar a destruir el adobe y la pared de la que forma parte (FERRER GARCÍA, 2010).

Se procuraba unir las distintas piezas con mortero compuesto del mismo barro utilizado para formar los adobes, a fin de asegurar la estabilidad y resistencia del muro, ya que la experiencia aconsejaba utilizar siempre el mismo material en cada pared y en cada construcción, es decir, con igual coeficiente de expansión y dilatación, a fin de evitar que diferentes comportamientos por parte de piezas y argamasa, ocasionaran fracturas o resquebrajamientos en los muros (RODRÍGUEZ, 2005).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

La elaboración del adobe exige cierto grado de conocimiento del medio y de las capacidades de la tierra para la construcción, y el desarrollo de un conjunto de procesos técnicos coordinados. Sin embargo esas mismas técnicas y sistemas de construcción con adobe han variado muy escasamente con el transcurso del tiempo (VELA COSSIO, 2003).

Su utilización a nivel mundial

Hasta hoy el adobe sigue siendo una técnica constructiva muy usual en regiones semidesérticas de África, América Central y América del Sur (VIÑUALES, 1993).

Por cuenta de las condiciones de escasos recursos de la estepa y los altiplanos del norte y centro Siria, la disponibilidad de un material como la tierra, su capacidad de integrar otros materiales, y su plasticidad, se traduce en un alto nivel de diversidad cultural en lo que respecta a las técnicas de construcción (Figura 2.27). Hay en esa región el proceso de construcción de una cúpula de tierra, también llamada de cúpula falsa¹⁸, que es todavía hoy una producción familiar, teniendo la supervisión de un constructor experto, el *muallem* (DIPASQUALE y JORQUERA, 2010).

Figura 2.27 - Vista de una vivienda en el pueblo de Rasm Hamd



Fuente: DIPASQUALE y JORQUERA, 2010.

¹⁸Esa técnica constructiva se realiza poniendo los ladrillos de adobe según una espiral helicoidal continua; el desfase de los ladrillos en relación a la capa inferior se obtiene a mano, sin instrumentos específicos, utilizando la medida de los dedos. En la mayoría de los casos los ladrillos tienen una inclinación de unos pocos grados hacia el centro de la cúpula. En la parte superior de la cúpula las hiladas se comienzan a inclinar más hacia el interior, a causa del peso de los ladrillos y de la cantidad de mortero utilizado. La parte superior de la cúpula se realiza con gran precisión, por el hecho de que esta parte es la más propensa a la degradación, se llama *tantur* y se compone de dos partes: una piedra puesta como indicación de la obra acabada y los ladrillos que la fijan. El conjunto de elementos que conforman la transición de la pared de base cuadrada a la base circular de la cúpula se denomina «penacho». En esta parte de la construcción de las hileras de ladrillos pasan gradualmente desde la forma cuadrada a la circular. La utilización de un trozo de madera o una piedra en la esquina permite una mayor proyección de los ladrillos, facilitando la creación de una base circular por las primeras hileras de la cúpula. La altura del penacho varía de 20 cm por encima del piso (cúpula simple) a 1,5 m (más común) o más (cúpula del sultán).

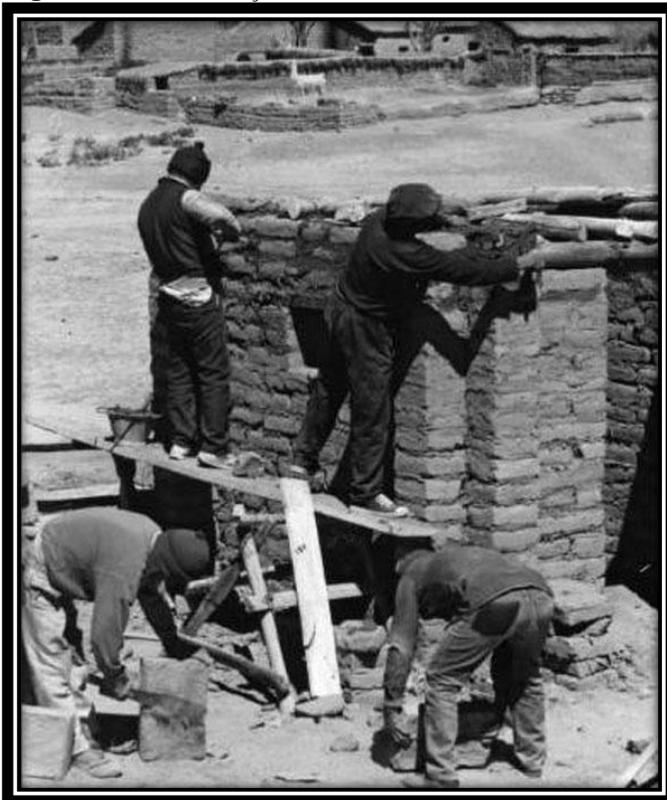
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

El adobe una vez siendo el principal material de construcción en el Próximo Oriente Antiguo fue usado por todo el ámbito mediterráneo (FATÁS FERNÁNDEZ y CATALÁN GARZARÁN, 2005). Fue un elemento constructivo muy bien documentado en los yacimientos españoles, sobre todo durante la protohistoria, aunque los investigadores ofrecen referencias de su empleo desde etapas muy anteriores (VELA COSSIO, 2003).

Componente característico de la arquitectura del barro ibérica (FERRER GARCÍA, 2010), está presente en la construcción en la región desde el Calcolítico (ASENSIO ESTEBAN, 1995). Tiene como ventaja sobre el tapial la particularidad que, siendo más manejable, se puede manipular cómodamente en las construcciones de altura y es más fácil su utilización en el relleno de los entramados (FERRER GARCÍA, 2010).

En México, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Argentina y en el sur y norte de Chile las casas de adobe son aún patrimonio de muchas familias humildes (Figura 2.28), que conservan esta tradición desde tiempos inmemoriales (MONTORO y FERRADAS, 2005).

Figura 2.28 - Construyendo con adobes



Fuente: MONTORO y FERRADAS, 2005.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Asimismo en Brasil, a pesar de la reducción en el uso del adobe, éste aún es usado en varias regiones de Brasil (Figura 2.29), principalmente en el norte y noreste. También en Minas Gerais y Goiás es posible encontrar muchas Casas en adobe.

La historia ya comprobó que el adobe es un material de gran durabilidad, incluso en las ciudades históricas brasileñas, como Ouro Preto y Pirinópolis, que aún poseen también muchas Casas de de adobe (BORGES DOS SANTOS y RODRIGUES, 2002).

Figura 2.29 - Adobes históricos de Brasil



Fuente: BORGES DOS SANTOS y RODRIGUES, 2002.

En resumen el sistema constructivo en tierra cruda, denominado de adobe, está formado básicamente por unidades de tierra cruda secadas al sol, aglutinados con barro que hace las veces de mortero de pega. Las unidades básicas de este mampuesto son fabricadas y/o moldeadas en diversos formatos y con variadas composiciones granulométricas (RIVERA TORRES y MUÑOZ DÍAZ, 2005).

Puesto que la técnica constructiva en sí misma no se ha modificado, lo que si se observa como adelanto y perfeccionamiento en su composición es la adición de elementos orgánicos e inorgánicos, que buscan mejorar sus propiedades.

2.3.3. La técnica de fabricación

Para la fabricación de los moldes debe considerarse el encogimiento del adobe durante el secado, el cual puede determinarse con adobes de prueba, de tal manera que el adobe seco corresponda a las dimensiones previstas en el diseño.

El moldeo se efectúa de la siguiente manera (Figura 2.30):

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

- Lavar el molde y espaciar arena fina en sus caras interiores antes de cada uso.
- Formar una bola con el barro y tirarla con fuerza al molde. Esta debe ser suficientemente grande para llenar toda la capacidad del molde, porque no deberán hacerse rellenos posteriores.
- Cortar los excesos de mezcla y emparejar la superficie utilizando una regla de madera.
- Desmontar con suaves sacudidas verticales¹⁹.

Figura 2.30 - Fabricación de adobes



Fuente: TIBÁ, 2011.

¹⁹ Si al retirar el molde el adobe se deforma es porque el barro tiene mucha agua. Y si él se raja o se quiebra es porque el barro está muy seco.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

- Modelos de adobera

Figura 2.31– Tipos de adoberas



Fuente: BERTAGNIN, 1998.

Cuando la mezcla tiene la consistencia y una composición adecuada se introduce en los moldes. Estos moldes se suelen colocar sobre arena o paja para aislar la mezcla del suelo. También hay que indicar que el molde podría ser redondo o de cualquier otra forma, es decir que el adobe no conlleva una forma determinada, aunque la más habitual sea la forma cuadrangular o rectangular. Hay que matizar que ya en el Oriente Próximo antiguo se podría diferenciar adobes modelados con la mano, que parecen ser los más antiguos y que podrían adoptar formas muy diferentes que pueden ir desde las formas cilíndricas hasta las aplanadas existiendo adobes muy particulares por su forma que adoptan diferentes nombres como patzen, riemchen o los conocidos adobes planoconvexos. Estas diferentes formas antecederían o bien coincidirían con el uso del molde (SÁNCHEZ GARCÍA, 1999).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

El moldeo puede ser tradicional, utilizando moldes sin fondo y vaciando la mezcla en el molde directamente sobre el apoyo elegido, o también se puede usar moldes con fondo, que permite producir adobes más uniformes, más resistentes y de mejor presentación. El fondo del molde debe hacerse con un acabado rugoso y con ranuras mínimas de aproximadamente 2 mm en los extremos. Los moldes serán de madera cepillada de buena calidad, que prolonga la vida útil del mismo protegiendo los bordes con zuncho metálico (MORALES, CABREROS, RENGIFO y CANDIOTTI, 1993).

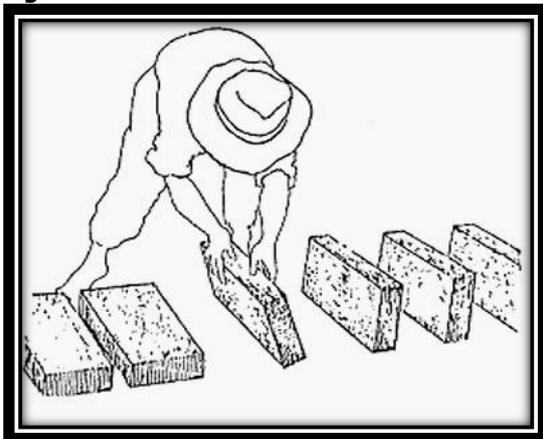
- El secado, almacenamiento y control de calidad

El tiempo de secado puede variar de unos días a semanas, en función de las condiciones meteorológicas y el tamaño del adobe (SÁNCHEZ GARCÍA, 1999).

Antiguamente los adobes deberían hacerse en primavera o en otoño para que se fueran secando uniformemente, sin excesiva lentitud o rapidez, por todos sus partes. Los hechos en el solsticio eran considerados defectuosos porque se secaban rápidamente por fuera dando una apariencia externa engañosa. Por ello que en algunos lugares durante el proceso se colocan a cubierto y/o sobre un entramado de cañas para que la humedad del suelo no traspase (VITRUVIO, 1997).

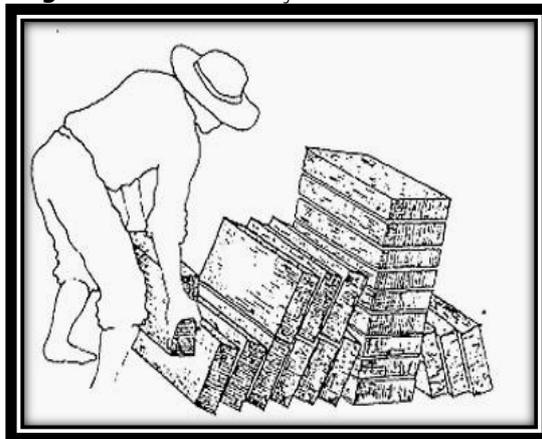
Para el proceso de secado de los adobes se utiliza una superficie horizontal, limpia y libre de impurezas orgánicas o sales. La producción se quedará albergada durante una semana y en épocas muy calurosas o lluviosas debe ser techado (MORALES et al, 1993). Tres días después de esto, los adobes podrán ser puestos de canto y al cabo de una semana se puede apilar para termino del secado (BARDOU, 1981).

Figura 2.32 - Secado de adobes



Fuente: BARDOU, 1981.

Figura 2.33 - Almacenaje de adobe



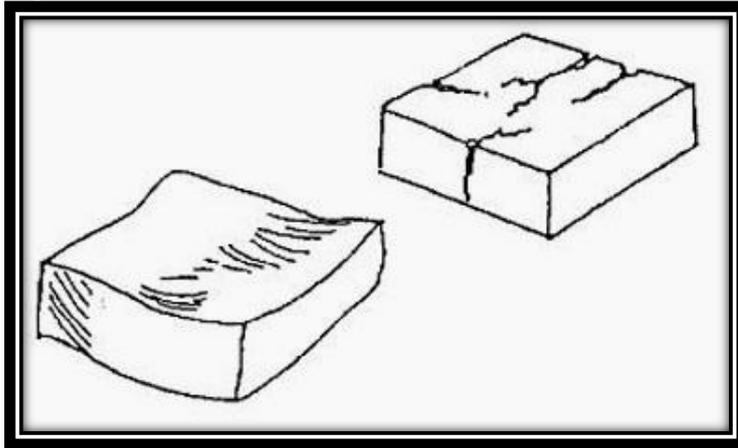
Fuente: BARDOU, 1981.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Se hay intención de hacer un control de calidad, se puede observar dos aspectos (MORALES et al, 1993):

1 - Si a las 4 semanas el adobe de prueba presenta grietas o deformaciones, se debe agregar paja al barro.

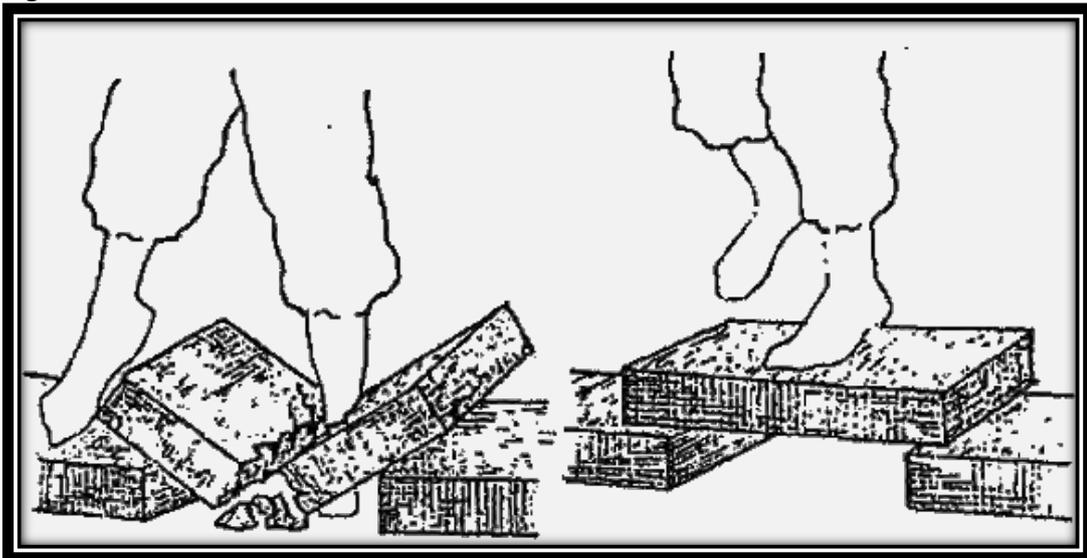
Figura 2.34 - Prueba de deformaciones de adobes



Fuente: MORALES et al, 1993.

2 - Si en ese mismo tiempo el adobe de prueba no resiste el peso de un hombre se debe agregar arcilla al barro.

Figura 2.35 - Prueba de resistencia de adobes



Fuente: MORALES et al, 1993.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Los adobes una vez secos se utilizan para el alzado de los muros colocándolos en hiladas sucesivas. Y dependiendo del grosor del muro se ponen a *tizón* (trasversales) o, en menor medida, a *soga* (paralelas al eje del muro) (SÁNCHEZ GARCÍA, 1999). Se traban con una tierra plástica y húmeda que puede ser igual a la empleada en su elaboración.

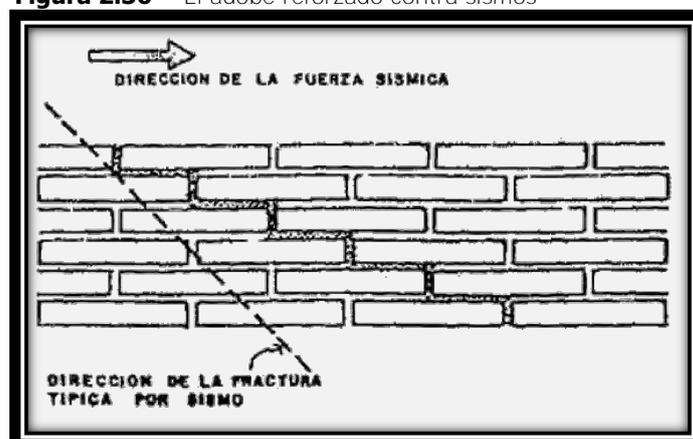
Se trata pues de una técnica muy adecuada para construir cuando se dispone de tiempo, de abundante mano de obra y de capacidad para gestionarla, en función de que los procesos de fabricación son simples pero prolongados y deben estar planificados previamente, de que exigen la participación de gran cantidad de personas durante el pisado y moldeado, y de que aunque no es un trabajo especializado, necesita un control técnico para minimizar la variación de las dimensiones y la forma irregular de las piezas (FERRER GARCÍA, 2010).

- Sus dimensiones

Las dimensiones de los adobes son variadas, entonces es conveniente dictar sobre este tema algunas recomendaciones de carácter general (MORALES et al, 1993).

- La longitud no debe ser mayor que el doble de su ancho más el espesor de una junta de pega.
- Tanto la longitud como el ancho tendrán una dimensión máxima de 40 cm.
- La altura no debe ser mayor de 10 cm en lo posible.
- La relación entre la longitud y la altura debe ser aproximadamente de 4 a 1 para permitir un traslape horizontal en proporción a 2 a 1, lo cual certifica seguridad ante el efecto de cortes producido por sismos.

Figura 2.36 - El adobe reforzado contra sismos

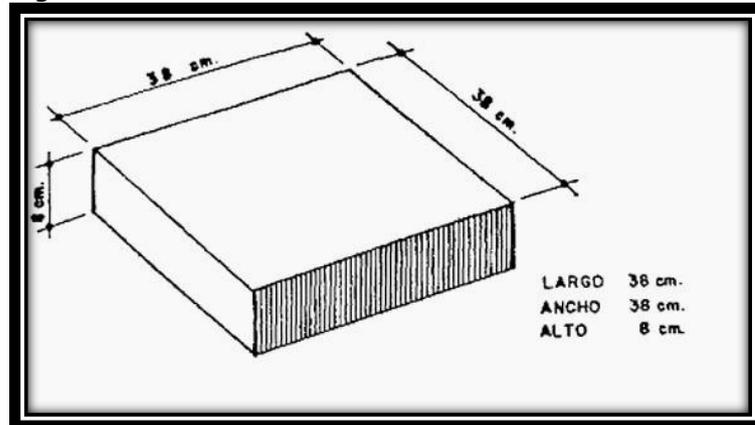


Fuente: MORALES et al, 1993.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

- Por las facilidades constructivas y de comportamiento mecánico se recomienda la forma cuadrada del adobe y las dimensiones más adecuadas para su fabricación:

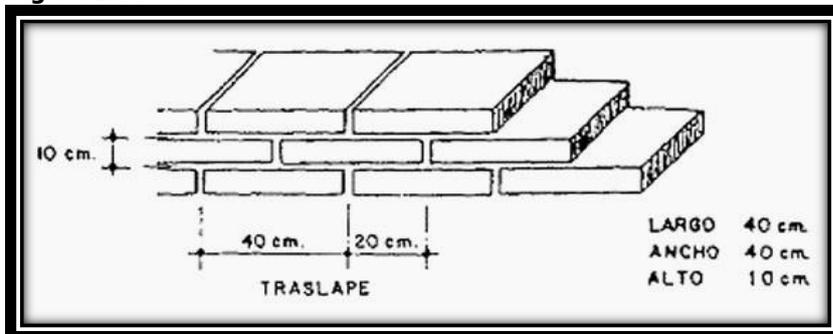
Figura 2.37 - Dimensiones del adobe



Fuente: MORALES et al, 1993.

- Pues al añadir el mortero de pega con espesor promedio de 2 cm. sus dimensiones finales de trabajo serían:

Figura 2.38 - Dimensiones finales de estructuras de adobes



Fuente: MORALES et al, 1993.

Respecto a esa clasificación de los adobes según su tamaño, se puede exponer descripciones de distintos módulos siempre llevando a cabo apreciaciones de carácter territorial. En Extremadura el adobe se trataba de módulos de al menos 30 x 20 x 15 cm de forma y tamaño no exactamente regulares, de caras rugosas y bastas, y color no rojizo, sino ocre o grisáceos, a causa de las tierras empleadas para su fabricación (RODRÍGUEZ, 2005). Y en el Valle del Ebro, responden a una serie de grupos que se relacionan con los conocidos en el Mediterráneo: módulo Antiguo de 15 x 9 x 7 cm, módulo 30 x 20 x 10 cm (alejado de

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

los módulos romanos, que no son de un pie, sino de dos o de pie y medio), módulo 40 x 29 x 14 cm y módulo 50 x 30 x 10 cm (ASENCIO ESTEBAN, 1995).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

2.4. Estudio del mortero

2.4.1. Introducción

“Los morteros han sido utilizados desde los albores de la civilización en la construcción, donde han cumplido importantes funciones ya sean decorativas o estructurales (CONSUEGRA, RODRÍGUEZ y FUENTES, 2012).”

El estudio de los morteros antiguos permite la obtención de informaciones importantes sobre sus características, que contribuyen para la contextualización de las construcciones tradicionales. La evaluación de las propiedades de estos elementos revelan particularidades del trabajo de construcción que están cargadas de la tecnología de una época específica y por eso llena de detalles significativos que pueden orientar el proceso de investigación.

Este apartado hace referencia sobre el mortero. Un poco de la historia, técnicas y aplicaciones de uno más de los materiales que son objetos de nuestra investigación.

2.4.2. Qué son los morteros

Bajo el nombre de *mortero* se denomina en sentido amplio a cualquier mezcla natural o artificial cuyas características constructivas esenciales son su plasticidad inicial, que permite trabajarla y moldearla según la necesidad, y su posterior endurecimiento y aumento de la resistencia mecánica, que lo hace útil como material de construcción. Estas mezclas constan de (RESTAURACIÓN, 2011):

- ❖ Un material inerte o *árido*, generalmente arena de distinta composición y granulometría,
- ❖ Un material aglutinante, ligante, conglomerante o *aglomerante*, que imparte *plasticidad* a la mezcla al ser aplicada, y por tanto permite su moldeado, así como *elasticidad* al endurecer, lo que confiere cohesión y resistencia mecánica al conjunto, y
- ❖ Materiales añadidos eventualmente o *aditivos*, cuyo fin es muy variado.

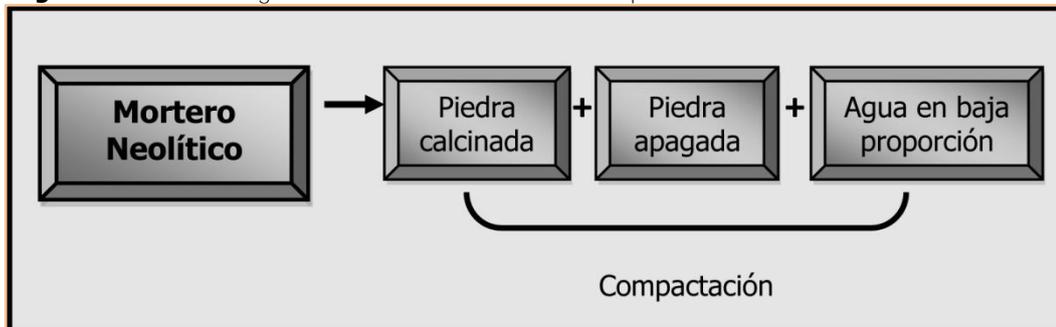
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

El mortero cumple la función de asumir las inevitables irregularidades de las unidades y, sobre todo, la de unir las u adherirlas con relativa estabilidad en el proceso constructivo, proveyendo rigidez en la hilada para permitir el asentado de la siguiente hilada, y para formar, en última instancia, un conjunto durable, impermeable y con alguna resistencia a la tracción (GALLEGOS VARGAS y CASABONNE RASSELET, 2005).

La evolución tecnológica del mortero

El uso del mortero en yacimientos neolíticos revela el inicio de los conocimientos sobre la cal (ÁVAREZ GALINDO, 1995), el yeso (MAS i BARBERÀ, 2008) y sus procesos de elaboración (Figura 2.39). Comienza en las civilizaciones prehistóricas ubicadas en el cercano Oriente y Mesopotamia, civilizaciones con amplio conocimiento de los materiales de construcción y sus técnicas de empleo (GALLEGOS VARGAS, CASABONNE RASSELET, 2005; CHANGEUX, 2010).

Figura 2.39 - Tecnología de fabricación del mortero en época neolítica

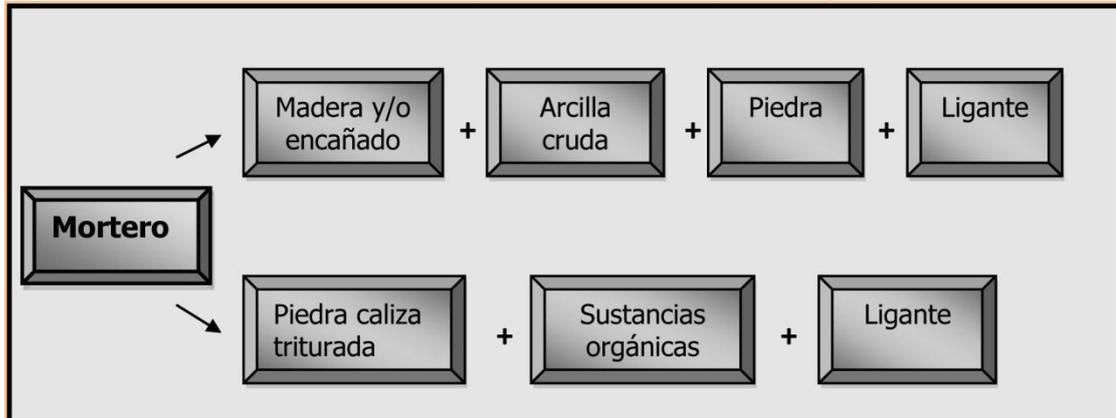


Fuente: ONTIVEROS ORTEGA, 2001.

Ya en el antiguo yacimiento de Jericó (9.000 a.C.), se ha encontrado los vestigios de los primeros morteros basados en la cal. Fue la llamada Máscara de Jericó, un calavera cubierta con un emplasto de cal pulido (ALEJANDRO SÁNCHEZ, 2002; VÉLEZ CAICEDO, 2008). En verdad esos vestigios de morteros de cal e yeso fueron también hallados en poblados prehistóricos construidos con piedras asentadas con barro desde las islas Aran, en Irlanda, hasta Catal Hüyük (7.000 a.C.), en Anatolia (Turquía). En el periodo neolítico, el mortero, en zonas como Europa Central y Septentrional, era fabricado de modo poco elaborado (ÁVAREZ GALINDO, 1995) (Figura 2.40).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 2.40 - Elaboración del mortero en época neolítica en Europa Central y Septentrional

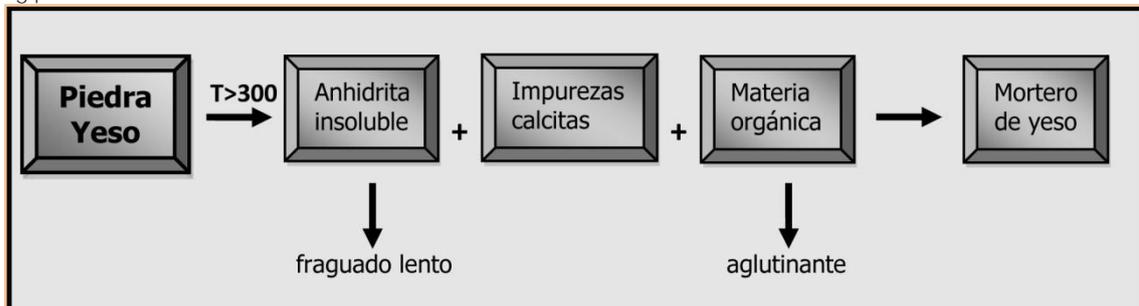


Fuente: ONTIVEROS ORTEGA, 2001.

Siguiendo, en aquel momento, hasta los incas Ollantaytambo, en el valle del Urubamba, cerca de Cuzco (GALLEGOS VARGAS y CASABONNE RASSELET, 2005), se ha observado que, de igual forma, en estos sitios se han descubiertos revestimientos localizados en suelos, muros, techos, hornos y pavimentos. Varias zonas de Asia y China conocen el mortero de cal entre el 600 y el 200 a.C., pero en India, estos morteros se utilizan antes, hacia el 1500 a.C. (BORES GAMUNDI y FREIRE TELLADO, 1998).

Los morteros de mayor conocimiento histórico son los de la cal y el yeso. Pero junto con estos, el betún fue uno de los primeros materiales usado como mortero (THALACKER, 1805). Sin embargo en la literatura vamos encontrar alusión de morteros hechos de pez, cera, grasa, greda, heno y paja. Todo eso mezclado con los más variados componentes, como vino, manteca de puerco y higos frescos (TERREROS Y PANDO, 1786).

Figura 2.41 – Composición y tecnología de fabricación del mortero para unión de piedras en época egipcia

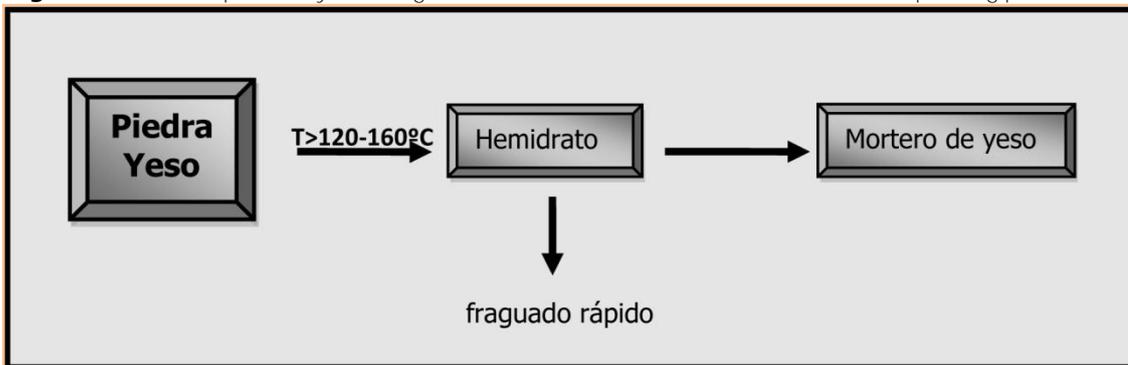


Fuente: ONTIVEROS ORTEGA, 2001.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Los egipcios fueron, al parecer, los primeros que utilizaron el yeso, obtenido por cocción a temperatura, aproximada, de 120°C, para unir los inmensos bloques de piedra de las pirámides de Keops, Khufu, Kefren y Gizé (2.600 a.C.) (MINGARRO MARTÍN, 1996). La cultura egipcia utilizó diversos tipos de yeso en función de su aplicación, sea para la decoración, el acabado, la colocación, para los enlucidos de sus artes o hasta mismo para embellecimiento de los templos y mascarar mortuorias (FERRER MORALES, 1998; GAÑÁN MEDINA, 1999) (Figuras 2.41, 2.42 y 2.43).

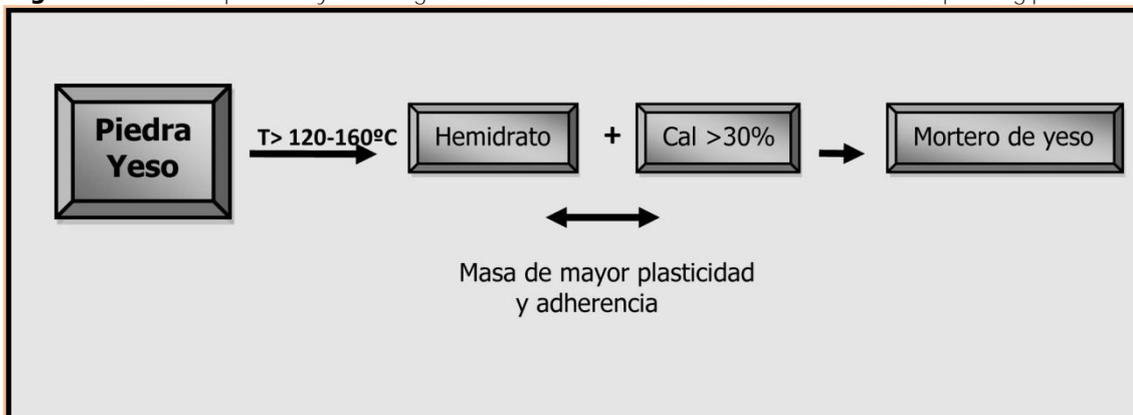
Figura 2.42 – Composición y tecnología de fabricación del mortero de acabado en época egipcia



Fuente: ONTIVEROS ORTEGA, 2001.

Los egipcios usaban una mezcla de yeso y cal para revestir los paramentos con enlucidos (GALLEGOS VARGAS y CASABONNE RASSELET, 2005). Hasta la conquista romana no se utiliza con profusión la cal en las construcciones egipcias, quizá por la necesidad de tener que reunir gran cantidad de madera para alimentar supuestos hornos de calcinación de la piedra caliza (BORES GAMUNDI y FREIRE TELLADO, 1998).

Figura 2.43 – Composición y tecnología de fabricación del mortero de decoración en época egipcia

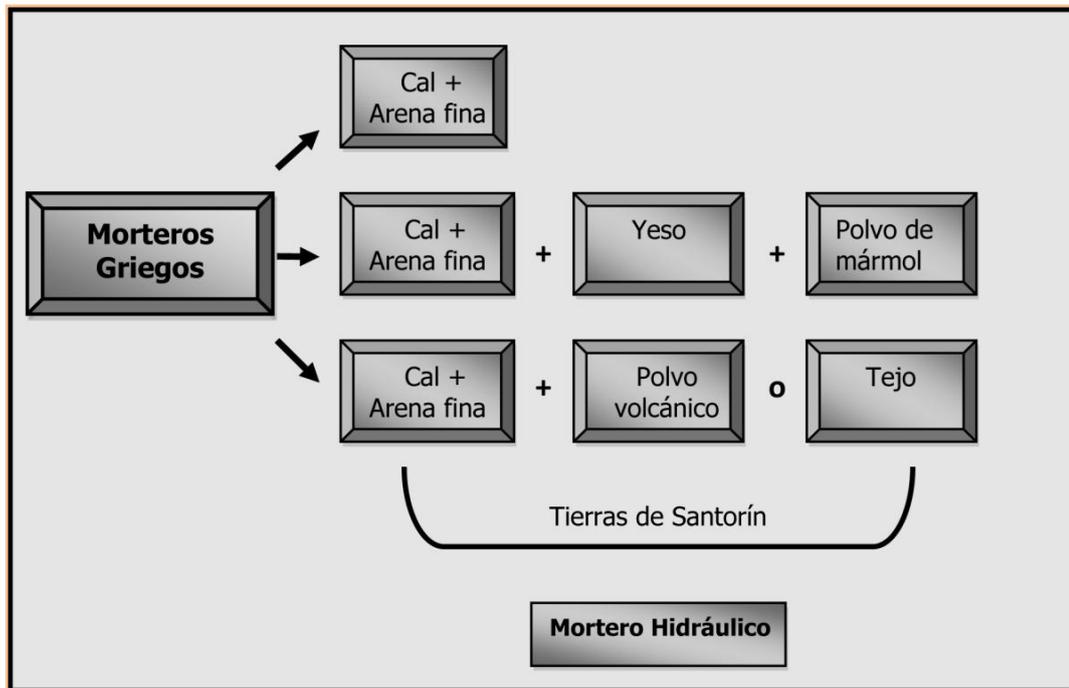


Fuente: ONTIVEROS ORTEGA, 2001.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Las civilizaciones antiguas de Grecia (2500 a.C. – 200 d.C.) y Roma (750 a.C. – 476 d.C.) no hicieron mucho uso de los morteros de yeso, se dedicaron al desarrollo y mejora del mortero de cal (Figura 2.44).

Figura 2.44- Técnica de fabricación de los morteros griegos



Fuente: ONTIVEROS ORTEGA, 2001.

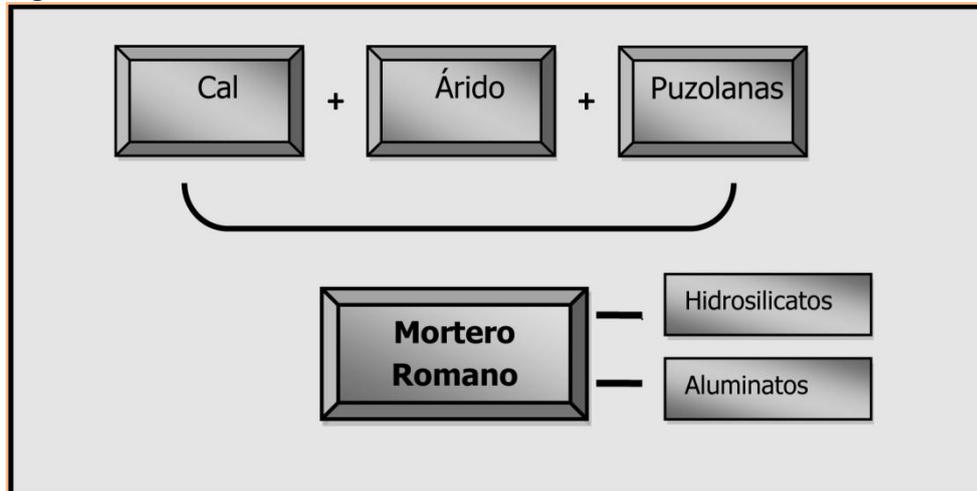
Los griegos fueron los primeros que hicieron uso de los morteros de cal y, en ese periodo, se utilizaba morteros compuestos por cal y en raras ocasiones morteros de yeso con áridos de caliza (MARÍN SÁNCHEZ, 2000). Los arquitectos griegos utilizaban los morteros de yeso más en estucos y revestimientos, pero era una formulación especial, como dicho anteriormente, piedra caliza y adición de yeso como ligante mezclado con un árido a base de polvo de mármol.

A través de los etruscos, los romanos reciben la herencia griega de estucos de yeso e morteros de cal (BORES GAMUNDI y FREIRE TELLADO, 1998). Las construcciones romanas fueron realizadas con morteros de cal grasa y adición de arcilla calcinada en forma de polvo de ladrillo o puzolana (BEDOLLA ARROYO et al, 2009) (Figura 2.45). Esta mezcla resultó apropiada para las construcciones marítimas. Y a partir del siglo I a.C. prácticamente sólo se empleaba esta mezcla de mortero de cal (BORES GAMUNDI y FREIRE TELLADO, 1998). Con

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

el desarrollo del Imperio Romano las técnicas de fabricación de morteros se diversificaron y sus características variaron según el lugar.

Figura 2.45 - Técnica de fabricación de morteros romanos



Fuente: ONTIVEROS ORTEGA, 2001.

El contacto con la cultura griega y romana se diseminó la técnica de la cal y del yeso por todos los países de Europa que no la conocían (BORES GAMUNDI y FREIRE TELLADO, 1998).

Tras la caída del Imperio Romano, se pierde la unidad formal de la calidad, que probablemente fue transmitida y mantenida como una rígida disciplina por las legiones a lo largo de todas sus regiones. En consecuencia fue difícil conservar la calidad técnica de los morteros. Y ellos van cambiar mucho de un lugar a otro. Se pasan a usar materiales de calidad mediocre, frágiles, poco homogéneos y aplicados sin la compactación característica de las construcciones romanas (ALEJANDRE SÁNCHEZ, 2002).

Las civilizaciones precolombinas también utilizaron los morteros para mampostería y decoración. En Perú se usaba cal mezclada con asfalto y también con barro para estabilizar los adobes. Entre 600 y 880 d.C., en buena parte de América, los incas desarrollaron la producción de cal para morteros y revocos a partir de la caliza y de conchas. También entre 300-600 d.C. el yeso se utiliza en Palenque, pero la cultura maya viene hacer el uso de la cal ya en época muy avanzada, entre 900-1200 d.C.

Las culturas africanas reciben la técnica de la cal y del yeso, desde el Norte, primero de los romanos y posteriormente de los árabes (ALEJANDRE SÁNCHEZ, 2002).

Los morteros en los siglos V, VI y VII se preparan principalmente con cal aunque la calidad y preparo siguen empeorando (BORES GAMUNDI y FREIRE TELLADO, 1998). Y

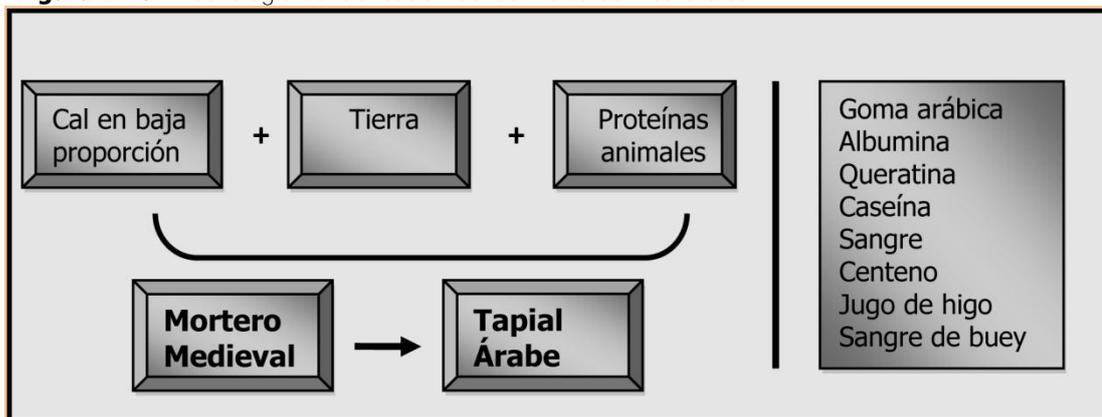
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

durante la Edad Media y por consecuencia de la caída del Imperio Romano, no hubo grandes progresos técnicos en la calidad de los morteros de construcción (Figura 2.46). Se olvidan mucho de los conocimientos diseminados por los romanos (MAGRO MORO y MARÍN SÁNCHEZ, 1999; HOZ ONRUBIA y VELA-COSSÍO, 2003).

Sin embargo, la invasión árabe en la Península Ibérica va a modificar la técnica constructiva en la región. Los árabes trajeron un desarrollo importante en la elaboración de morteros de yeso, especialmente para revestimientos y bases de pintura mural, aunque también para labores estructurales (ALEJANDRE SÁNCHEZ, 2002).

España tornase un buen ejemplo de la diversificación del yeso como material de construcción en territorio islámico. Los morteros ahora se preparan en su mayoría de yeso y la cal se reserva para lugares y situaciones determinadas y casi siempre mezclado con yeso y aditivos (GRACIANI GARCÍA, 2001).

Figura 2.46 - Tecnología de fabricación de los morteros medievales



Fuente: ONTIVEROS ORTEGA, 2001.

En los siglos XIV y XV ya se empieza un ciclo de mejora de los morteros. Los morteros del Renacimiento tienen su justificación ligados al concepto del muro renacentista, que se basa en el concepto ambivalente ornamental-estructural del muro romano, pero donde el ornamento del muro renacentista es más geométrico que gráfico.

En la primera época renacentista los morteros de cal, junto con elementos cerámicos triturados y tierra batida constituyen el material de relleno del interior del muro, estando el exterior del mismo formado por el aparejo de piezas cerámicas o sillares. Esta estructura de tres hojas del muro renacentista se diferencia constructivamente de la de los muros clásicos en espesor, ya que con el mejor conocimiento de la geometría y de las ciencias y con la recuperación de la calidad y homogeneidad de las cales y de los materiales hidráulicos que habían sido perdidos durante la Edad Media, se consiguieron muros más delgados.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Pero es como material de cobertura y revestimiento decorativo del muro cuando recobran verdadero auge los revocos, estucos y frescos heredados de los clásicos (ALEJANDRE SÁNCHEZ, 2002).

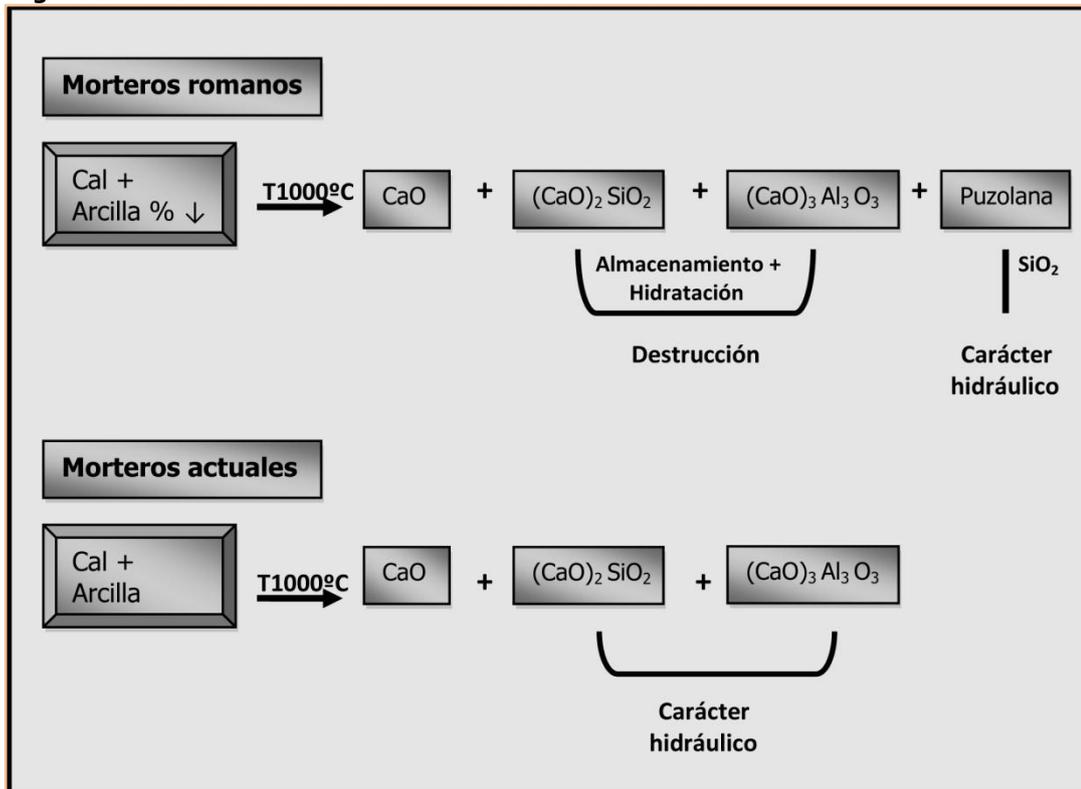
Hasta el siglo XVIII sólo se utilizan los morteros de cal, yeso y materiales puzolanicos (RODRÍGUEZ-MORA, 2006). Y la principal innovación introducida durante este siglo fue el descubrimiento, por John Smeaton, de los morteros hidráulicos, susceptibles de endurecer bajo el agua (DÍES-CASCÓN SAGRADO y BUENO HERNÁNDEZ, 2001). Smeaton, durante la construcción del faro de Eddyston, buscaba morteros que fraguasen en presencia de agua. Con este motivo calcinó calizas impuras (margocaliza) con una proporción importante de arcillas y obtuvo dicho ligante hidráulico, confirmando que era la arcilla la que daba carácter hidráulico a los morteros (GOMÁ, 1979; ONTIVEROS ORTEGA, 2001).

Desde finales del siglo XIX se perfecciona el proceso de fabricación que posteriormente desencadenó la fabricación de los actuales cementos Portland, material íntimamente ligado a la producción de los morteros de hoy (RODRÍGUEZ-MORA, 2006).

En la Figura 2.47 se puede ver el primer esquema, elaboración de los morteros hidráulicos romanos, se observa que éstos se caracterizan por que los silicatos no provienen de la calcinación de las arcillas sino de la sílice que liberan las puzolanas. La diferencia más significativa entre los morteros de cal hidratada (no hidráulicos) con los que utilizan puzolanas o tejo es la presencia de una fase de sílice vítrea que genera silicatos cálcicos hidratados, cuya formación tiene lugar antes de la carbonatación; estos compuestos son muy estables en el tiempo y su efecto más inmediato es una reducción de la porosidad en la matriz del ligante. En el segundo esquema se presenta la elaboración de morteros hidráulicos en época moderna. La diferencia entre los morteros hidráulicos romanos con los ensayados por Smeaton, es la fuente de obtención de los silicatos y aluminatos cálcicos que, en el primer caso, proceden de las puzolanas y, en el segundo caso, de la caliza impura calcinada (arcillas). Para el caso de los morteros romanos la proporción de sílice y alúmina que puede contener la caliza es muy baja, destruyéndose estos compuestos durante el proceso de almacenamiento, que es de aproximadamente 3 años (ONTIVEROS ORTEGA, 2001).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 2.47 - Evolución de los morteros romanos a los modernos



Fuente: ONTIVEROS ORTEGA, 2001.

2.4.3. Tipología

Los morteros se definen básicamente como una mezcla trabajable de uno o más conglomerantes inorgánicos (cal, yeso, cemento, etc.), áridos, agua y a veces adiciones o aditivos (orgánicos o inorgánicos). Hay una infinidad de tipos de morteros, pero ese apartado se concentra en aquellos que hacen referencia directa con nuestros estudios.

a) Según la naturaleza del conglomerante

Los conglomerantes son los componentes principales de los morteros. Son responsables por la unión adecuada de los elementos estructurales, una vez que permiten el fraguado y endurecimiento del mortero. Deben estar formados por partículas finas y químicamente más reactivas que los demás componentes.

- ✓ Morteros de barro – Son preparados con tierra arcillosa y agua. La adición común es de paja o estiércol para evitar fisuras por contracción. Endurece con la evaporación del agua y es empleado para juntas y revestimientos.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

- ✓ Morteros de cal – Son preparados con cal, arena y agua. Su fraguado y endurecimiento dependen del tipo de cal empleada. Tienen como características el endurecimiento lento, la resistencia a largo plazo, gran retracción de volumen y escasa a media durabilidad frente a los agentes atmosféricos (MARTÍNEZ-RAMÍREZ, 1995).
 - ✓ Morteros de cal y materiales puzolanicos – Son mezclas de cal con elementos que, debido a su composición química, mineralógica y grado de cristalinidad de las fases silícicas y silicáticas presentes, alcanzan una capacidad de conglomerante cementicio. Estos elementos son las puzolanas, que pueden ser naturales o artificiales (MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, PUCHOL y HERNÁNDEZ, 2007).
 - ✓ Morteros de yeso – Están formados por yeso cocido a temperaturas entre 110°-180°C, que una vez molido se mezcla con agua y en ocasiones con arena para formar de nuevo yeso al endurecer.
 - ✓ Morteros hidráulicos – Son mezclas de cal hidráulica con materiales puedan infundir un aumento de estas propiedades hidráulicas. Eso puede ocurrir a través de adición de chamotas, puzolanas, cenizas, cementos y etc (GONZÁLEZ CORTINA y VILLANUEVA DOMÍNGUEZ, 2002).
 - ✓ Morteros con conglomerante orgánico – Son mezclas en que se adicionan sustancias retardadoras y/o biocidas que mejoran sus propiedades físicas (MAS i BARBERÀ, 2008).
 - ✓ Morteros bastardos (con más de un tipo de conglomerante) – Es una mezcla de cal y cemento, siendo el conglomerante principal usado la cal apagada.
 - ✓ Morteros de yeso-cal – Son morteros bastardos constituidos por una mezcla de yeso y cal. Muy común en época antigua (DORREGO, LUXÁN y SOTOLONGO, 1998)
- b) Según su función
- ✓ Morteros de fabrica – También llamados de morteros de unión o de juntas, son los que unen los diferentes elementos de fabrica (piedra, ladrillo). Tienen resistencia, buena adherencia y son impermeables.
 - ✓ Morteros de revestimiento – Sirven como capa o cubierta con que resguarda una superficie. Son morteros para acabado y protección. Son utilizados en

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

pavimentos, paredes u otros elementos arquitectónicos. Dentro de ese grupo están:

- Enfoscado: es la primera aplicación del mortero sobre el soporte, directamente encima del material del muro. Protege de agresiones y sirve de base al revoco.
 - Revoco: es de acabado y puede estar constituido de varias capas.
 - Estuco: es de acabado y se diferencia del revoco por tener materiales seleccionados por su gran calidad (molidos finamente). Es común estar formado por yeso o cal en pasta y un árido pulverizados.
 - Guarnecido: es colocado sobre el enfoscado en el interior.
 - Enlucido: es la última capa de revestimiento que proporciona una superficie fina de acabado.
- ✓ Morteros para solados – Son pastas niveladoras que a través de capas se busca alcanzar el nivel deseado para recibir el revestimiento final del suelo.
 - ✓ Morteros cola – Son adhesivos cementosos para colocación en paredes o suelos de baldosas cerámicas.
 - ✓ Morteros de reparación – Son utilizados para reconstituir volúmenes perdidos en determinada área incorrecta.
 - ✓ Morteros de decoración – Son empleados como acabado de los paramentos con fines ornamentales.
 - ✓ Morteros especiales – Son morteros no convencionales que tienen en su proceso de preparación adiciones técnicas que mejoran sus características de manera muy superior.

2.4.4. El Mortero histórico

En ese estudio se utilizará del concepto más general para los morteros históricos y que será denominado mortero compuesto, que se puede justificar por la composición diversificada de las muestras utilizadas para la investigación.

Se entiende por compuesto aquel elemento elaborado a partir de materiales constituidos por más de un componente, incluyendo una matriz homogénea y que engloba

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

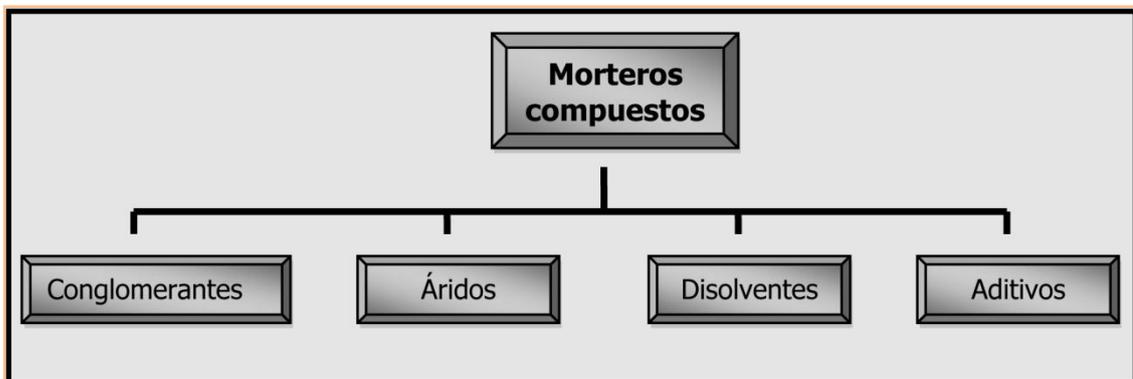
uno o varios otros materiales. Ese elemento compuesto aparece en el momento en que el hombre no se limita, en sus construcciones, a utilizar los materiales tal y cual los encuentran en la naturaleza. Se podría denominar como elementos compuestos no sólo el mortero histórico, pero también los adobes; los bloques de barro o betún, armados con fibras (MAS i BARBERÀ, 2008).

Se puede definir también material compuesto como aquel que es constituido por dos o más componentes cuyas propiedades son superiores a las que tienen cada uno en separado, siendo posible distinguirse prontamente cuando necesario (OLIVARES SANTIAGO, GALÁN MARÍN y ROA FERNÁNDEZ, 2003; HULL, 2003).

En el caso de esa memoria, los morteros compuestos, por su carácter de material pétreo artificial, por su capacidad para unir fragmentos y dar cohesión al conjunto, deben poseer dos propiedades esenciales: plasticidad y capacidad de fraguado/curado, o sea, endurecimiento. Y esas características son determinadas por la combinación de los diversos componentes que los integran (MAS i BARBERÀ, 2008) (Figura 2.48).

2.4.5. Composición

Figura 2.48 -Componentes de los morteros compuestos



Fuente: ONTIVEROS ORTEGA, 2001.

En términos generales los morteros compuestos son constituidos por un conglomerante, un árido, un disolvente y, a veces un material complementario (aditivos).

2.4.5.1. Conglomerantes o ligantes

Son los componentes que aportan al mortero la capacidad de endurecer y a la vez hacerlo trabajable y plástico. Los conglomerantes más utilizados en los morteros antiguos son la cal y el yeso, aunque también se han empleado a lo largo de la historia, las arcillas, el

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

asfalto y otros. Los conglomerantes cumplen una doble función, por un lado, la función física de adherirse a la superficie de los áridos que debe unir y rellenar los huecos entre ellos, y otra, la función química de combinarse con el disolvente formando una estructura apta a conseguir adherencia y resistencia en la aplicación buscada. Las características y propiedades de los morteros serán proporcionadas por la naturaleza y composición del conglomerante.

1. La cal

La cal ha sido el ligante más empleado en la fabricación de morteros tradicionales. Sus constituyentes son el óxido de calcio (CaO) y de magnesio (MgO), y algunas impurezas como alúmina (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3). La cal resulta de la calcinación de las piedras calizas. Después de ese proceso hay que proceder a la extinción o apagado del producto anhidro, con lo cual se obtiene un material hidratado en forma polvorienta o pastosa, según la cantidad de agua añadida. En función del tipo de cal empleada, los morteros pueden ser:

- ❖ Aéreo: se obtienen a partir de la calcinación de calizas muy puras, en temperaturas entre $900\text{-}1.000^\circ\text{C}$ y endurecen mediante al aire.
- ❖ Hidráulico: proceden de la calcinación de calizas con impurezas o de mezclas de calizas con arcillas en temperaturas de hasta 1.200°C , y que fraguan y endurecen tanto al aire como en el agua.

2. El yeso

Con ese término yeso se conocen dos materiales con propiedades físicas y químicas diferentes. Uno se refiere al producto natural (piedra de yeso, aljez – $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y otro, al producto obtenido industrialmente a partir del primero (yeso cocido, semihidrato – $\text{CaSO}_4\cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) (DÍAS-MARTÍNEZ y RODRIGUES ARANDA, 2007).

El yeso es el ligante más antiguo conocido por la humanidad y fue muy empleado desde ese periodo. Quizá por obtener materiales de usos posibles a bajas y medias temperaturas de calcinación (Tablas 2.1 y 2.2). Tuvo su uso para la construcción, para unir materiales o elementos constructivos, para protecciones de paramentos y para decoración.

Los aglomerantes tradicionales a base de yeso más representativos son:

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

- ❖ Pasta de yeso: Yeso con agua en distintas proporciones. Es un revestimiento para interiores generalmente en dos capas; una primera de yeso negro (guarnecido con impurezas) y otra superpuesta de yeso blando (enlucido).
- ❖ Morteros de yeso: Yeso con arena fina. Utilizado para revocar paramentos interiores y para unir materiales o elementos de muros.
- ❖ Yeserías y estucos: Mezcla de yeso y aditivos en general de origen animal que retrasan en fraguado, aumentan la plasticidad y trabajabilidad de la pasta en fresco y mejora la adherencia, dureza y resistencia a agente externos. También se puede adicionar la cal o pigmentos inorgánicos.

Tabla 2.1 - Características de las variedades de yeso según la temperatura

Temperatura	Componente	Nomenclatura	Características
T ^a ambiente	CaSO ₄ ·2H ₂ O	Yeso natural, dihidrato, aljez, piedra de yeso	Alta conductividad térmica Dureza y resistencia bajas Soluble en agua (2.2 g/L a 20°C)
120-180°C	α CaSO ₄ ·1/2H ₂ O	Hemihidrato (α)	Compacto, cristales gruesos Fraguado rápido 10 veces más resistente que el β
120-180°C	β CaSO ₄ ·1/2H ₂ O	Hemihidrato (β) Yeso cocido	Esponjoso, microcristalino Fraguado más lento Menos resistencia mecánica
150-380°C	CaSO ₄	Anhidrita III, soluble	Muy inestable Gran avidez por el agua
380-1200°C	CaSO ₄	Anhidrita II, insoluble sobrecocida	Textura estable Similar anhidrita natural Fraguado muy lento Necesidad de acelerantes
1200-1350°C	CaSO ₄	Anhidrita I Yeso hidráulico	Inestable Pasa a anhidrita II a <1200°C Fraguado muy lento

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

<1350°C	CaSO ₄	Disociación térmica	Transformación total en CaO y SO ₃
---------	-------------------	---------------------	---

Fuente: NAVARRO LIZANDRA, 2005.

Tabla 2.2 - Clasificación de los yesos según el proceso de calcinación

Temperatura de cocción	Usos
Yesos cocidos a baja temperatura	Yeso de estuco Yeso de modelados Yeso de moldes Yeso de alabastro
Yesos cocidos a media temperatura	Yeso de revocar Yeso de horno
Yesos cocidos a alta temperatura	Yesos de solados Yesos alúmbrico

Fuente: NAVARRO LIZANDRA, 2005.

El fraguado

Es el proceso de hidratación del hemihidrato de yeso que transcurre en tres etapas – hidratación, cristalización y endurecimiento. La hidratación de 95% del yeso ocurre en aproximadamente tres minutos y finaliza en menos de dos horas. El fenómeno de fraguado produce aumento de volumen y desprendimiento de calor (ARREDONDO, 1961).

Varios factores pueden influir en el fraguado. Se puede destacar la relación yeso/agua, temperatura del agua de amasado, tiempo desde su deshidratación y el tamaño de las partículas. La propiedad más importante del yeso es su rapidez del fraguado y esta puede ser modificada mediante aditivos retardadores (ONTIVEROS, 2001).

2.4.5.2. Áridos o cargas

Son otro de los componentes de los morteros, que pueden presentarse como pétreos naturales o artificiales. El uso de las cargas en los morteros permite estabilizar el volumen de la dosificación, hacer de relleno y disminuir la retracción durante el endurecimiento del mortero.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Las cargas que se añaden a las matrices, pueden ser de dos tipos, reforzantes o no reforzantes. Las cargas reforzantes suelen tener forma esférica, huecas o macizas, para evitar las concentraciones de tensiones. Las no reforzantes, son de origen mineral e incorporadas a la mezcla en diferentes proporciones modifican las características del mortero en base a sus necesidades. El árido por tanto va a ser el componente que condiciona el comportamiento final del mortero. Desde el punto de vista de su morfología (lisa, vítrea, granulosa, cristalina, cavernosa, porosa). La preferencia debe ser de las superficies angulosas y rugosas que permiten una mejor acomodación y adherencia del mortero. Por otro lado, la granulometría y la distribución del tamaño del árido tienen que ser variada de forma que favorezca la compactación entre partículas. A mayor cantidad de granos finos menor será la resistencia y porosidad del mortero. Por último, el grado de porosidad del árido permitirá obtener morteros ligeros (porosidad árido alta) o altamente pesados (porosidad árido nula) (SUAREZ y REGUEIRO, 1994).

Los áridos más comúnmente utilizados en la fabricación de morteros históricos han sido los siguientes (ALEJANDRE SÁNCHEZ, 2002) (Tabla 2.3):

- ❖ De composición silíceas: Arenas graníticas o cuarcíticas tanto de ríos como de aluviones, arena marina y también puzolanas o tobas volcánicas.
- ❖ De composición calcárea: Preferentemente calizas, dolomías y materiales fosilíferos.
- ❖ Mixtos: Resultantes de la mezcla de los anteriores.
- ❖ Otros áridos entre los que se encuentran arcillas, fragmentos de cerámica, piezas de morteros reutilizados o marmolina.

El árido es el esqueleto del mortero y constituye, por lo general, 80% aproximadamente de su masa total. Su finalidad principal es la de estabilizar el volumen, hacer de relleno y disminuir la retracción durante el secado del material (RODRÍGUEZ-MORA, 2006; ARIZZI y CULTRONE, 2012).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 2.3 - Clasificación de los agregados o áridos

Áridos	Tipos	Composición
Áridos silíceos	Arenas graníticas Arenas marinas Puzolanas o tobas volcánicas	Cuarzo Feldespatos , augitas plagioclasas y micas
Áridos calcáreos	Rocas carbonatadas	Calcita, dolomita, etc.
Tejo	Molienda de cerámicas Arena silícea/tejo Arena de playa + tierra volcánica	Material silíceo de alta temperatura Mezcla de las composiciones anteriores
Áridos mixtos	Agregado calcáreo + cuarzo Árido calizo + cuarzo + conchas	

Fuente: ONTIVEROS ORTEGA, 2001.

2.4.5.3. Aditivos o adiciones

Durante el amasado de un mortero o pasta, generalmente suele incorporarse unas sustancias que, en proporciones no superiores al 5%, producen una modificación en el mortero, en estado plástico o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento, mejorando la cualidad de ejecución de la obra, la durabilidad y la resistencia a los agentes atmosféricos (UNE - 83 800 - 1994).

Entre la tipología de aditivos empleados en morteros históricos podemos diferenciar básicamente entre inorgánicos y orgánicos (ÁLVAREZ PÉREZ, GUZMÁN y ARROYO, 2009). En el primer grupo se encuentran las sustancias naturales que son las arcillas, fragmentos de ladrillo o puzolanas naturales o artificiales, que proporcionan el carácter hidráulico al mortero. El segundo grupo, de los aditivos orgánicos, se incuben sangre animal, leche, huevos, carbón o azúcar, que proporcionan múltiples funciones en los morteros antiguos (Tabla 2.4).

Tabla 2.4 - Propiedades de los aditivos

Aditivos	Funciones
Clara de huevo	Acelerador y retardador del fraguado, plastificante
Azúcar	Acelerador del fraguado, resistencia a la escarcha
Gelatina	Incrementa de la durabilidad
Gluten	Incrementa la adherencia, retardador del fraguado
Caseína	Incrementa la adherencia
Albumina	Incrementa la adherencia, plastificante
Cerveza	Incrementa la durabilidad
Orina	Incrementa la durabilidad

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Leche	Plastificante
Aceite animal	Plastificante
Glicerina	Plastificante
Glucosa	Plastificante
Sangre	Retardador del tiempo de fraguado
Sacarina	Retardador del tiempo de fraguado

Fuente: ONTIVEROS ORTEGA, 2001.

2.4.5.4. Disolventes o diluentes

El disolvente/diluyente dependerá del tipo de mortero orgánico o inorgánico empleado. Para el caso de los morteros de matriz polimérica, el solvente vendrá combinado con la resina que forma el conglomerante, mientras que para los morteros inorgánicos (cal, **yeso...**) **el disolvente por excelencia será el agua.**

El agua empleada para la fabricación del mortero debe ser limpia y sin partículas contaminantes. Se emplearían, por tanto, aguas destiladas, desionizadas o, en el caso de aguas marinas, de ríos o embalses se prestara atención a los contenidos de impurezas y sales.

2.4.5.5. Dosificaciones

El termino dosificación define la proporción en volumen o en masa de los diferentes materiales que componen el mortero (aglomerante/árido/aditivo/solvente) y, va a depender, de la finalidad del mortero, de su composición y de la resistencia mínima deseada. Permite distinguir el tipo de textura (granular, flotante o masiva). Y dicha relación ha variado de unas épocas a otras, siendo en muchos casos más ricos en cal los morteros antiguos que los modernos. Se indican desde relaciones de 1/2 y 1/3 (VITRUVIO, 1997) hasta la relación citada en la fuente de Foncalada (construcción ovetense atribuida tradicionalmente al prerrománico pero posiblemente romana) de 2/1 (ROJO, MATEOS y VADEÓN, 2004), las fábricas medievales tienen el valor medio es 3/1 (CASINELLO PLAZA, 2006), en los siglos XVI y XVII es frecuente 1/2 y en los palacios neoclásicos 2/1 a 1/1 (ALONSO RODRÍGUEZ, FERNÁNDEZ-CRESPO y CARRIZO, 2010), aunque también hay morteros medievales y renacentistas pobres en cal 1/3 a 1/5 (GÁRATE ROJAS, 2002).

Quando la cal queda apagada, se mezcla con arena de cantera, en proporción de tres cuartas partes de arena por una de cal; si se trata de arena de río o de mar se mezclaran

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

dos partes de arena por una de cal; así se hará una exacta y justa proporción de la mezcla. Se conseguirá una mezcla de mejor calidad para su uso, si se añade a la arena de río o del mar una tercera parte de arcilla machacada y cribada (VITRUVIO, 1997).

Y

...las cales medievales se obtenían de las piedras calizas procedentes de la misma cantera de la que extraían los sillares para construir las fábricas de la catedral, por esta razón existe una enorme variedad de tipos de cales medievales..., todas sufrían el mismo proceso de fabricación artesanal del cual resultaban cales poco homogéneas..., la dosificación es variable según la procedencia de las muestras ensayadas: 2/1, 3/1 y 4/1 (CASINELLO PLAZA, 2006).

2.4.6. Importancia del estudio de los morteros históricos

La determinación de las propiedades de los materiales que componen los morteros dichos históricos es de suma importancia para que se pueda lograr un poco más de conocimiento sobre estos elementos y así contribuir con posibles datos nuevos que vengán a surgir.

El análisis sobre morteros tiene gran importancia en varios campos, sean históricos o de patrimonio. Entre ellos podemos citar (MARTÍN PÉREZ, 1990):

- a) Restauración de monumentos. Si el análisis muestra que el mortero está en un buen estado de conservación, se puede utilizar para la restauración un mortero análogo o de composición similar que esté en armonía con la construcción antigua y satisfaga las exigencias de aquélla. En caso contrario, se impone un estudio más completo para conocer las razones por las que el material no ha desempeñado eficazmente el cometido que tenía asignado.
- b) Estudio de las relaciones entre la composición de los morteros y la cronología de las construcciones.
- c) Estudio de sitios arqueológicos. El conocimiento de la composición de los morteros presenta indudable interés histórico y científico cuando se dispone de morteros datados.

La caracterización de los morteros lleva consigo un gran número de determinaciones: caracterización visual morfológica, mineralógica-petrográfica y físico-química. Estas

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

investigaciones en gran parte van orientadas a la identificación y diseño de un material parecido o compatible con los materiales antiguos.

El conocimiento ha progresado sin duda, no obstante como se demuestra en un examen crítico, es difícil extrapolar desde estos estudios una metodología general para la caracterización adecuada. Uno de los mayores obstáculos es frecuentemente la heterogeneidad del material y la dificultad de obtener muestras de dimensiones significativas, para llevar a cabo todas estas determinaciones.

Por otra parte el mortero de cal es un material poco conocido cuya importancia por ahora es pequeña para la construcción moderna y, consecuentemente suscita poco interés entre los especialistas en materiales. La investigación en este campo está ampliamente justificada pero únicamente para necesidades específicas de restauración.

En este sentido el método a aplicar debe tener en cuenta la coordinación adecuada de las distintas técnicas y ensayos en función de los objetivos que se pretendan en cada caso, por esta razón la metodología de estudio debe plantearse más atendiendo al tipo de material y objetivos que a las técnicas en si (ONTIVEROS ORTEGA, 2001).

Materialles



3. MATERIALES

3.1 Introducción

Los restos de edificaciones históricas, principalmente las construidas con tierra cruda, son elementos significativos para el proceso de registro arqueológico, pues a menudo evidencian una prueba directa de una serie de actividades en lugares concretos del territorio (VILA y ESTÉVEZ, 2010). De acuerdo con el material empleado para la construcción, su estructura y función, se puede diferenciar edificios (PLINIO SEGUNDO, 1995) y/o obtener informaciones sobre su ubicación y principal funcionalidad (VITRUVIO, 1997; SALIDO DOMÍNGUEZ, 2004). Sin embargo, la atención dada a esos materiales en la excavación deja qué desear en cuanto a su importancia real porque no son abundantes los estudios detallados con los elementos arqueológicos constructivos, sobre todo si se trata de elementos fragmentarios (CHIAYAZZA y ANZORENA, 2005). En general, la bibliografía de referencia sobre el tema cuenta con una descripción poco detallada si comparamos con otros materiales estudiados (SCHÁVELSON, 1991; ZARANIN, 1995). Además de no demostrar su real importancia (ALVA- BADERRAMA, 2003). Con todo eso, se puede decir que hay una necesidad de un estudio más constante de las tecnologías constructivas, sus elementos y los procesos de elaboración de la materia prima (LIBEROTTI y DANEELS, 2012).

No obstante fue con **"la arqueología de la arquitectura"**²⁰ que se abrió una nueva mirada sobre los materiales constructivos, suponiendo un importante avance en el conocimiento de las técnicas constructivas de la antigüedad, con aportaciones cronotipológicas indudables en el conocimiento de las formas de construir y en el significado social del evergetismo en las sociedades antiguas. Siendo importante también comprender los mecanismos presentes en las estructuras productivas del artesanado involucrado en la arquitectura. Con eso se ha podido impulsar una formulación de nuevos problemas históricos y crear nuevos ámbitos de investigación.

Esa disciplina suscita investigar las técnicas constructivas de modo que sea indispensable conocer aquellas que han desaparecido debido a los procesos de industrialización y comprender de esta forma los mecanismos sociales presentes en la estructura productiva implicados en la arquitectura. Todo eso, sin embargo, no debe ser visto de forma excluyente. Otros instrumentos de carácter tipológico, formal, estructural, arqueométrico

²⁰ Expresión creada por Tiziano Mannoni. Docente de la materia arqueología y de la especialización de la Università di Genova, Pisa e del Politecnico di Milano.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

o de recursos a las fuentes escritas son absolutamente imprescindibles para lograr un afianzamiento de esta disciplina y un acercamiento más sólido a la historia de los elementos constructivos de los edificios históricos” (AZKÁRATE GARAI-OLAUN, CABALLERO ZOREDA y QUIRÓZ CASTILLO, 2002, p. 7).

La arqueología de la arquitectura persigue entonces el conocimiento de la sociedad a través de los documentos materiales, en este caso arquitectónicos (ARCE SÁINZ, 2009; QUIRÓS, 2002); y para lograrlo utiliza los métodos arqueológicos y arqueométricos (MANONI, 1990). Como ciencia pretende situarse en una posición disciplinar intermedia, que supere los límites tradicionales entre la arqueología, la arqueometría, la restauración, la arquitectura (QUIRÓS, 2002) y la historia del arte (ARCE SÁINZ, 2009).

Por tanto la metodología de esa investigación se enmarca en esa línea de pensamiento, con el fin de fortalecer las ideas suscitadas pela arqueometría, que relacionando los conocimientos de disciplinas tradicionales, abre espacio a la investigación de los temas concernientes a esta área, no poniendo marco de diferencia científica entre los investigadores interesados (ARCE SÁINZ, 2009).

3.2 El área de Estudio

El conjunto de materiales utilizados para ese estudio está compuesto por 123 muestras provenientes de diez yacimientos de la Península Ibérica, siendo siete del Nordeste²¹ y tres del Sur²² (Figura 3.1).

Los yacimientos aparecen relacionados en la Figura 3.2.

²¹ Las muestras fueron gentilmente cedidas por la Dr^a Margarida Genera i Moneels.

²² Las muestras fueron gentilmente cedidas por el Dr. Andrés María Adroher Auroux y el Dr. José Luis López Castro.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 3.1 - Mapas del área de estudio (Nordeste y Sur de la Península Ibérica)

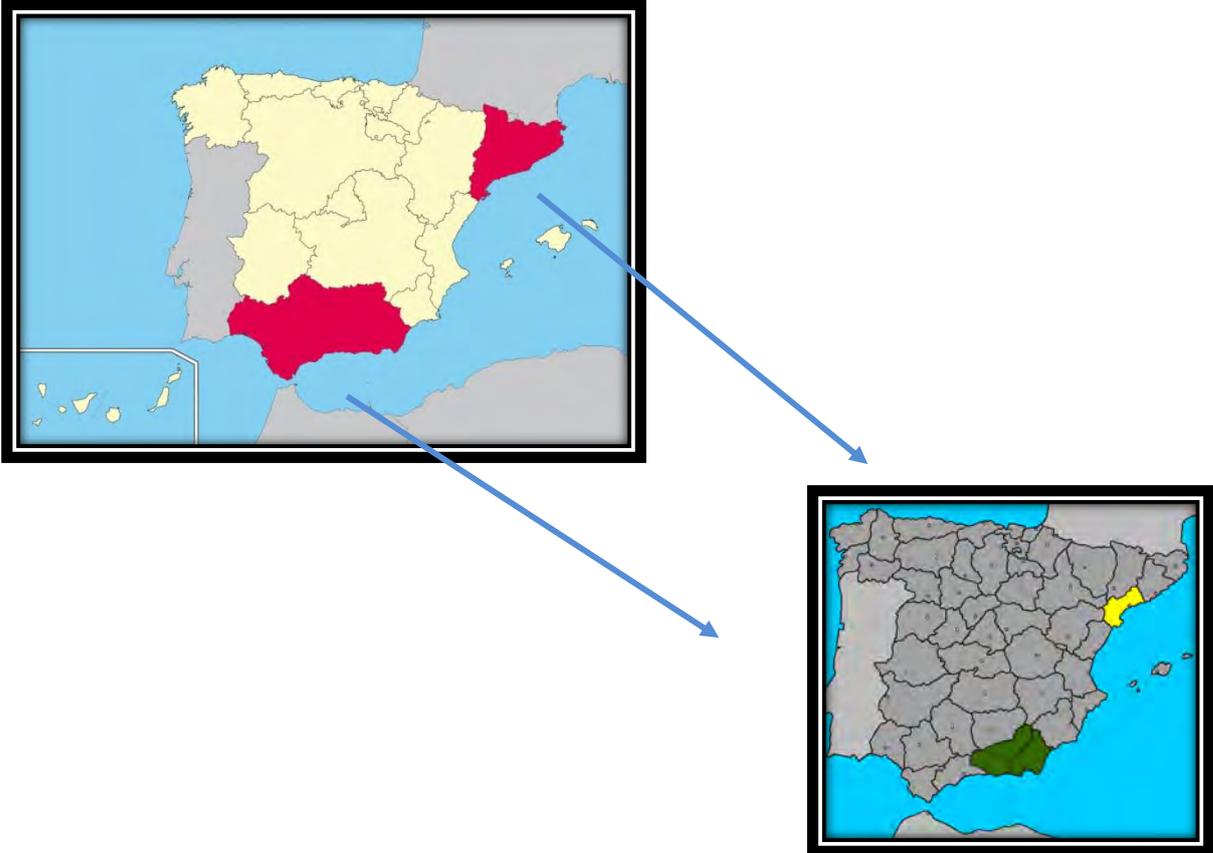


Figura 3.2 - Yacimientos por ubicación geográfica



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

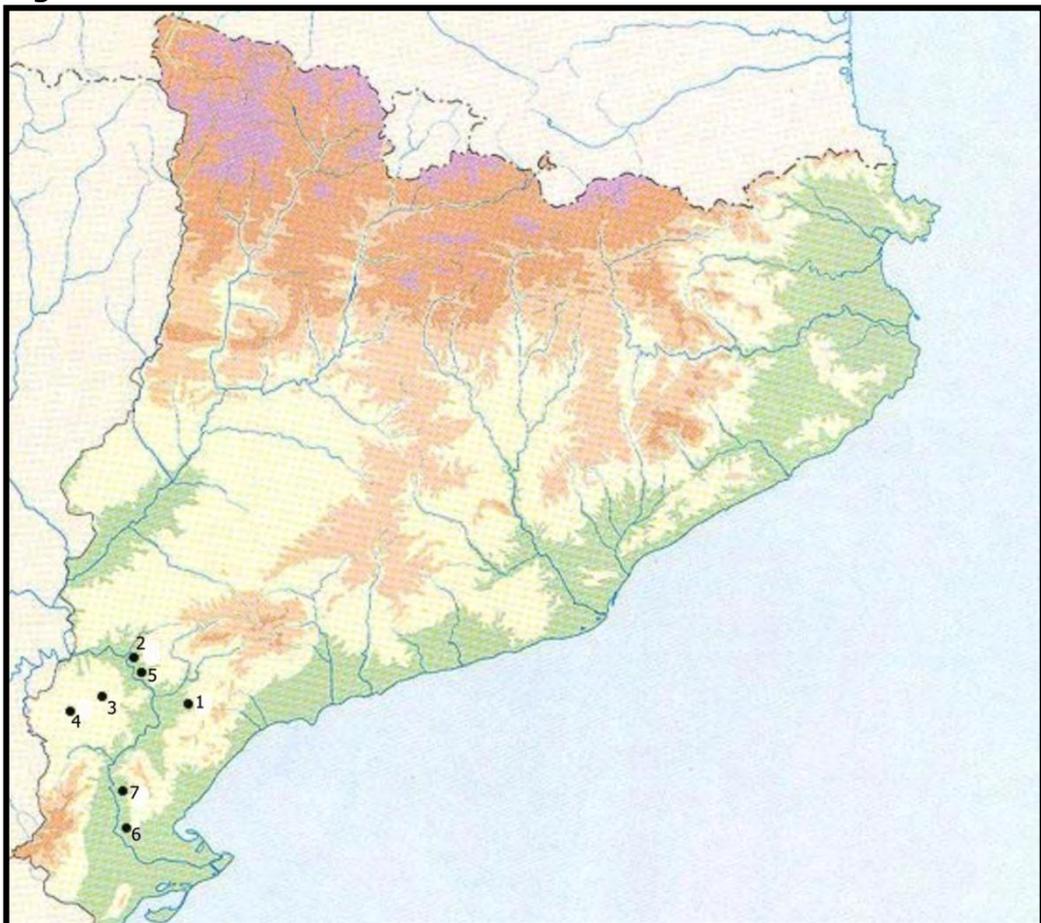
Las muestras fueron seleccionadas bajo los parámetros iniciales de naturaleza del fragmento, porosidad, tamaño, cronología y su representatividad en el grupo. En un segundo momento fueron sometidas a una caracterización mineralógica y textural. Las muestras están distribuidas en fragmentos de diversos tipos de adobe y morteros.

Para ordenar las muestras y tener una visión más global de las mismas, se ha elaborado un inventario que se encuentra en los anexos de esa memoria, donde se puede ver la identificación de cada espécimen, incluyendo la etiqueta con que se denominó (signatura), naturaleza, tipo de elemento, yacimiento del que proviene y etapa cronológica del yacimiento.

3.3 Los yacimientos y sus contextos

3.3.1 Nordeste de la Península Ibérica

Figura 3.3 – Yacimientos del nordeste



1-Puig Roig del Roget, 2-Els Castellons de Flix, 3-Turó del Calvari; 4-Tossal del Moro, 5-Sant Miquel de Vinebre; 6-Costa Capellans, 7-Villa de Barrugat

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Las muestras del nordeste de la Península Ibérica proceden de siete yacimientos. Se presenta aquí una pequeña descripción de cada uno de ellos.

1. Puig Roig del Roget

Es un asentamiento de época protohistórica ocupado durante un periodo comprendido entre las últimas fases de la Edad del Bronce y principios de la Edad del Hierro (s. IX-VII aC.).

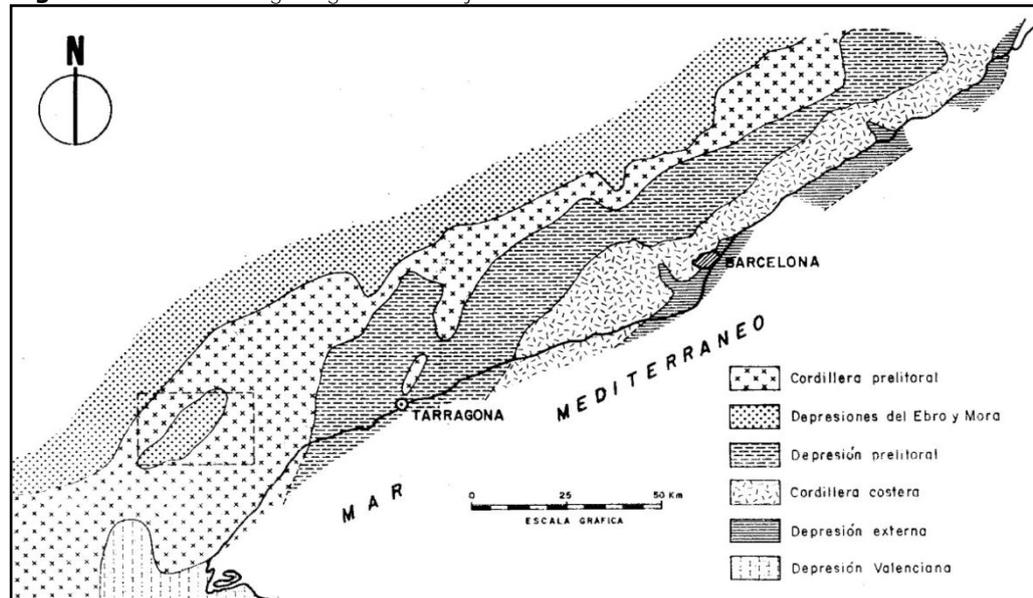
El poblado ocupa una superficie elipsoidal de unos 1.200 m², alcanza los 150 m sobre el nivel del mar y unos 50 m sobre el nivel del río Siurana, y está a pocos kilómetros de la confluencia de éste con el Ebro. Está dentro del término de El Masroig, pero en la zona limítrofe al término municipal de Bellmunt de Siurana, en las cercanías de la antigua dependencia de la cartuja de Escaladei. Territorio que pertenece a la comarca del Priorat, a unos 50 Km de Tarragona.

Los trabajos de excavación, iniciados en 1977 por un equipo dirigido por la Dra. Margarida Genera, han permitido el estudio de las diferentes construcciones y de numerosos objetos abandonados por sus habitantes. Actualmente, es uno de los poblados más antiguos de los conocidos en Cataluña (GENERA, 1985, 2002).

Geológicamente pertenece al mapa (471) Mora de Ebro, situada en la provincia de Tarragona, formando parte del sector meridional de la Cordillera Prelitoral catalana del Valle del Ebro (Figura 2). La estratigrafía de la zona tiene predominancia materiales de Buntsandstein (GENERA, 2010), que está compuesto por niveles detríticos groseros en la base (conglomerados y areniscas de elementos claramente dominantes de cuarzo y cuarcita) poco cementados y de color rojo. La región que circunda a Bellmunt de Siurana ha tenido, desde la época antigua, un gran interés minero. En esa área existen numerosas minas, que han producido galena, plata. Además de canteras para la explotación de las margas oligocenas con destino a la industria cerámica de alfarería (ORCHE et al, 1981).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 3.4 – Situación geológica de la Hoja de Mora de Ebro



Fuente: ORCHE, 1981 – IGME

La estructura del establecimiento se adapta a la topografía del lugar y se extiende, por la parte más elevada que forma un pequeño plano superpuesto a otro. Además el Puig Roig se encuentra rodeado, en parte, por el río Siurana, que recorta la base y origina unas pendientes considerables, cubiertas actualmente de bosques de pinos.

Fueron documentadas dos fases de ocupación. Dos de habitación y otra de abandono, lo que determina el final definitivo de la ocupación humana en este paraje.

- 1- La fase inicial podría corresponder al momento de su ocupación por un reducido grupo humano, que se había instalado en los abrigos alrededor, en pequeñas cabañas, cuyos vestigios se encuentran en la propia colina.
- 2- Un segundo asentamiento, corresponde a un poblado de calle central, trazada de acuerdo con un diseño urbanístico, que sigue unos parámetros muy sencillos, que responde claramente a una planificación y análisis valorativa de las condiciones del propio terreno. Alrededor del año 600 a.C., este lugar fue abandonado definitivamente, final que viene marcado por un incendio que afectó la totalidad del recinto (GENERA, 1985).

En conjunto, el Puig Roig presenta unas condiciones bien favorables como hábitat. Se trata de un punto de una cierta elevación y de fácil defensa, cuenta con la proximidad del agua, aportada principalmente por el río Siurana, y con abundancia de sílex, y, su situación

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

en una región rica en minas, que tal vez sea una de las razones por las que construyeron este poblado. Una vez que sus ocupantes desarrollaron la metalurgia.

Otro aspecto importante es que el Puig Roig del Roget se ubica en una encrucijada de caminos y vías naturales que comunican las tierras del Priorat con la Ribera del Ebro a través del Siurana y facilitan el intercambio con otros pueblos venidos del Mediterráneo. Por delante mismo pasa el antiguo camino que unía las villas de Bellmunt y El Molar con sus zonas mineras. Este paso relaciona también el establecimiento del Puig con el poblado y la necrópolis del Calvari, y con otros lugares que fueron contemporáneos.

No obstante el material recuperado en las campañas de excavación realizadas hasta el momento sea abundante y con predominio de la cerámica, se ha dado énfasis a los adobes que son unos de los objetos de esta Memoria de investigación y que tienen una historia tecnológica toda definida por estudios anteriores.

Puig Roig del Roget ha tenido dos momentos de ocupación humana. El primer establecimiento se refiere al periodo de llegada de grupos que se instalaron en la parte alta de la colina, procedentes de otras casas en forma de cabañas instaladas en los alrededores de este lugar. El otro establecimiento está formado por un poblado de la calle central, con estancias contiguas de cada lado. El poblado fue destruido por un incendio que ha obligado a sus habitantes a abandonar para siempre este paraje. En el lado norte, el conjunto urbanístico está limitado por un muro de 1 metro de ancho, formado por grandes bloques de arcilla roja. En el lado oeste existe una estructura de planta casi cuadrada, delimitada por muros inclinados, que fue atribuido como base de la plataforma de una torre. Esa construcción, que probablemente se habría completado con adobes, está adosada a un muro alineado en sentido Norte y Sur, relacionado con la muralla que limita el lado Norte (GENERA, 2011).

Los muros de las casas que corresponden a la última fase de ocupación están contruidos con un zócalo de tres a cinco hiladas de piedra arenisca roja del *Buntsandstein*, con una preparación de asiento regularizado en la cara superior hecha de barro e que eran terminadas con adobes unidos entre sí por una argamasa de arcilla. La unión de las piezas de adobes fue favorecida por existencia de huellas realizadas con la mano izquierda. Los muros después de contruidos eran recubiertos con un fino enlucido de tierra y los techos probablemente eran contruidos de argamasa y ramajes.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Las paredes hechas únicamente de adobe son utilizadas como elemento de cierre o delimitación del espacio interior. Se puede ver en el área central restos de un muro de adobe con ocho hiladas.

Asimismo fueron encontrados placas de arcilla sin límites definidos que podrían formar parte del sistema de cubierta y adobes propiamente dichos, en forma de paralelepípedo que usaban para la construcción de paredes. Todos los adobes, elaborados a molde presentan las dimensiones de: 24-50 cm de longitud, 19-20 cm de ancho y 15-16 cm de grosor (GENERA, 1986, 2011).

2. El Turó del Calvari de Vilalba dels Arcs (Terra Alta)

El yacimiento Turó del Calvari de Vilalba dels Arcs (Terra Alta) está situado en el alto de una colina orientada hacia el noroeste, a unos 440 metros de altitud sobre el nivel del mar. Su ubicación responde a la topografía clásica de la Terra Alta: relieves ondulados, poco elevados, con una altura generalizada entre los 300 y los 350 metros, que enmarcan pequeños valles constituidos a partir de arroyos de tipo intermitente. La colina donde se ubica el yacimiento corona la cabecera de dos barrancos, el de Voravall y el de Sant Pau, que desaguan en el Ebro, situado a unos 20 kilómetros en dirección norte. Este hecho condiciona en gran medida el campo visual del yacimiento, que se desarrolla básicamente hacia el norte, siempre condicionado por la altura del relieve que le rodea, y que se concentra en el curso del arroyo que se forma a sus pies y sobre los valles que se extienden a sus vertientes. Por lo que respecta a los accesos, también aparecen limitados por el relieve, y el paso sureste es el único practicable con comodidad.

Geológicamente el territorio pertenece al mapa (443) Fabara y se reparte entre las provincias de Lleida, Tarragona y Zaragoza. El curso del río Ebro marca el límite hace la separación en la zona nor-oriental. Los ríos Matarranya y Algars discurren por el suroeste, confluyendo con el Ebro en las inmediaciones de Fayon. Es una región muy accidentada con alturas superiores a 500 metros. Está situada en el sector central de la franja catalano-aragonesa de la Cuenca del Ebro constituida por alternancia arcillas rojizas, cantos con matriz limo-arcillosa, calizas, margas, arenisca calcárea y gipsarenitas. La actividad de explotación principal es para la fabricación de cal viva (VAN DEN HURK y NAVARRO, 1992).

El descubrimiento y la excavación del yacimiento de Turó del Calvari de Vilalba dels Arcs (Terra Alta) ocurrió durante una remoción de tierras efectuada en 1999 en el punto más elevado del asentamiento, con motivo de la remodelación de un espacio extraurbano en el

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

municipio. En el lugar donde debían situar tres cruces de hierro con peana de hormigón, aparecieron unos materiales cerámicos de apariencia antigua, y en algunos casos vasos completos, asociados a unas estructuras murarias con piedra caliza.

La primera excavación, dirigida por David Bea durante el verano de 1999, permitió delimitar una estructura aparentemente aislada, en muy buen estado de conservación, que, en relación con los materiales identificados, apuntaba hacia la posibilidad de haber localizado un edificio singular.

Con estos indicios se planteó la posibilidad de incluir esos trabajos como prioridad en investigación del área. Se solicitó la continuación de los trabajos, ya dentro del marco de un proyecto de investigación, durante los años siguientes. Los trabajos fueron dirigidos y coordinados por David Bea Castaño y Jordi Diloli Fons. Y En el año 2004 se ha finalizado la intervención y se ha musealizado el yacimiento. Con todo eso, se confirmó que la naturaleza de la edificación encontrada merecía un estudio minucioso, ya que se convirtió actualmente, en el noreste peninsular, en un yacimiento que resulta determinante para el establecimiento de los patrones de asentamiento y de los modelos sociopolíticos durante la Primera Edad del Hierro en la Cataluña meridional.

El conjunto de materiales encontrados durante las intervenciones, tanto los estructurales como los no estructurales, se convierten en elementos básicos a la hora de delimitar la funcionalidad del edificio del Turó del Calvari de Vilalba dels Arcs. El incendio que sufrió la edificación ha contribuido para hacernos llegar objetos o estructuras, como los elaborados con barro secado al sol, que deberían haber desaparecido en otras circunstancias. Pero también ha deformado vasos y otras piezas que han creado dificultades a la hora de la identificación de los mismos. Con eso el proceso de clasificación de estas piezas ha tenido que ser revisado varias veces debido a su difícil identificación tecnológica y adscripción geográfica.

El ámbito cronológico en que se mueve el Turó del Calvari de Vilalba debe enmarcarse en términos absolutos dentro de la Primera Edad del Hierro, entre el 625 - 575/560 antes de nuestra era. De todos modos los investigadores sugieren algunas matizaciones que permitirían afinar esos datos.

Entre las diversas estructuras arquitectónicas encontradas, Turo del Calvari posee una torre de planta rectangular que está edificada a partir de un largo doble muro paralelo compuesto por filas de piedras planas y ligeramente desbastadas en su cara externa, dispuestas unas sobre las otras, que se rellenaría con piedras de menor tamaño y arcilla.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Sobre esta pared, con más de 1 metro de anchura, se levantaría un muro de adobe, encalado en sus caras interna y externa (FONS; CASTAÑO y CANALS; 2005).

El espacio interno de esa construcción posee dos ambientes divididos por una pared de adobe a la altura de la segunda hilada, un encaje de madera dos orificios destinados a sostener una estructura de madera, que podría ser una escalera de acceso entre las dos habitaciones.

En el ambiente A1, de planta rectangular ángulos arredondeados, se ha constatado en forma de derrumbe la presencia de diversos elementos arquitectónicos que podrían corresponder a la cubierta del edificio o a las estructuras arquitectónicas interiores, construidas con madera y adobe. El pavimento está formado por una capa de tierra y cal apisonada. El revestimiento de las paredes de adobe, se ha realizado con un revoque de barro cubierto con cal.

En el ambiente A2 se delimita de la pared del ambiente anterior y un muro perimetral posterior del edificio. (CASTAÑO; FONS y CANALS, 2002).

3. Tossal del Moro de Pinyeres

Ese yacimiento fue descubierto y excavado por Lorenzo Pérez Temprado en mayo de 1925. Esta excavación afectó casi toda la plataforma superior del poblado, en una extensión de unos 70 metros de largo por unos 26 metros de ancho. Sin embargo, él no siguió los trabajos y se limitó a guardar algunos materiales de esa excavación.

En 1960 fue redescubierto por Joan Maluquer de Motes y Enrique Vallespi. Sus trabajos siguieron hasta 1961 y en 1962 y, publicó una primera memoria sobre el yacimiento de Tossal del Moro que comprendía el estudio preliminar de los materiales de la excavación de Pérez Temprado y los recogidos superficiales en las sucesivas visitas, así como la topografía del yacimiento.

En 1975, con autorización de Dr. Maluquer, se empiezan las campañas dirigidas por Enric Sanmarti en colaboración de Oswaldo Arteaga y Josep Padró, que tuvieron lugar durante los años 1975, 1977 y 1982, los resultados de las cuales se han recogido en varias publicaciones (ARTEAGA y PARCERISSA, 1990; PADRÓ i PARCERISSA, 2015).

El yacimiento Tossal del Moro de Piñeras pertenece a la cultura ibérica centrada en las comarcas de Matarranya, Terra Alta y Ribera del Ebro. En este territorio aparece un tipo

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

de fortificaciones ibéricas que quizá pueda explicar la importancia de esa ruta, que se va a mantenerse hasta la época romana.

El poblado se halla ubicado en una elevación del terreno inmediatamente al sur de Piñeras, en la orilla derecha del río Algars. La altura máxima es de 270 metros sobre el nivel del mar y de 48 metros sobre el del río. En las cercanías había unos cuantos poblados protohistóricos, de los cuales podemos mencionar el Tossal del Rullo (Favara), el Coll del Moro (Gandesa), el Tossal Gord (Maella), Sant Cristófol (Massalió) y la Gessera (Caseres) entre los más conocidos (PADRÓ i PARCERISA, 1983).

El Tossal del Moro se sitúa en el mapa (470) Gandesa, que comprende la parte sur-oriental de la Depresión del Ebro, la Cordillera Costero-Catalana (Los Catalánides) y una **superficie muy reducida de la Depresión terciaria de Mora d'Ebre. Esa región se caracteriza** por su relieve muy diferenciado, con altitudes superiores a 550 m. El territorio está drenado por los ríos Matarranya, Algars y Canaletas. Los sedimentos están formados por margas, calizas, dolomías, limo, arcillas de coloración ocre, blanca, rojiza y gris-verdosa, pequeños nódulos de yeso y ocasionalmente areniscas. En lo referente a minerales metálicos, no se conocen indicios o explotaciones antiguas ni actuales. De minerales no metálicos se puede considerar las arcillas refractarias utilizadas por la fábrica de refractarios silico-aluminosos de las inmediaciones de Pinell de Brai. (MERCADAL et al, 2006).

En el Tossal del Moro hubo un primer poblado del Bronce Final o de la primera Edad del Hierro, datado durante el siglo VII y de comienzos del VI aC.

Un segundo poblado, ya plenamente Ibérico, se estableció en el mismo lugar y destruyó casi totalmente los restos del anterior. Y las paredes de las casas del poblado ibérico no presentan señales de reformas constructivas, sugiriendo una vida relativamente corta del mismo y, por consiguiente, poco tiempo para evolucionar. El poblado ibérico del Tossal del Moro fue destruido por un violento incendio, que provocó su abandono de manera repentina hacia el año 400 aC.

4. Els Castellons de Flix

El yacimiento se extiende por la parte más alta y ladera de dos cerros (Castellons I y Castellons II) situados en la margen izquierda del Ebro, a un centenar de metros sobre el nivel del mar y frente a curva que forma este río en el municipio de Flix (Ribera del Ebro, Tarragona). Geográficamente se encuentra en su lado izquierdo el río Cana y los barrancos

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

de Sant Joan y Sebes y, en su lado derecho el Mosselló. Esa posición puede haber propiciado la presencia humana en dicho lugar a lo largo de varios siglos, una vez que esa zona favorece un gran control estratégico visual. Además de eso posee agua abundante, terrenos cultivables, material pétreo de fácil extracción y transporte, arcillas y minerales. Las investigaciones llevadas a cabo en este paraje permitió el registro de un complejo establecimiento ocupado desde los últimos tiempos de la Edad de Bronce hasta los primeros siglos de la época romana (s. IX-I a. C.). Y la mayor parte de vestigios recuperados en esas labores pertenecen a la época ibérica.

La primera noticia publicada sobre la existencia de ese yacimiento fue en 1979, momento en que hace referencia a la conservación de restos de estructuras constructivas relacionadas con materiales de la época ibérica, localizados durante unas prospecciones hechas en los años setenta en el tramo final del Ebro, entre la confluencia en Fayón y la desembocadura.

A partir de 1999 una serie de intervenciones se han llevado a cabo en el conjunto arqueológico de Els Castellons. Una intervención en el año 2000, en unos terrenos al pie de Castellons II para comprobar la existencia de restos arqueológicos. Y, posteriormente, en 2001 y 2003, en los dos cerros.

El objetivo principal de esta primera etapa de intervenciones ha sido la recogida de datos que eran considerados imprescindibles para poder convertir este conjunto en visitable dentro las rutas del Ebro.

Castellons I

Presenta una plataforma, de 3.000 m² aproximadamente, hoy ocupada por matorros y restos de cultivos recientes y vestigios de la Guerra Civil que han afectado parte de los restos arqueológicos existentes. Aun así, hoy se puede ver in conjunto de estructuras constructivas de planta rectangular.

En el sureste se pueden ver muros que demarcan dos habitaciones rectangulares con 3 metros de longitud y 1,5 y 2 metros de ancho. En el centro del cerro se observa un nivel superficial, donde aparece un sedimento arcilloso con restos de humus que cubre las estructuras de los muros.

Castellons II

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Es una zona en que se extienden numerosas construcciones, principalmente de época ibérica, que cubren una superficie de unos 5.000 m², a pesar de que una trinchera de la Guerra Civil haya supuesto la destrucción, al menos parcial, de todos los espacios situados en este área.

El otro elemento negativo para los restos ha sido la instalación de una torre de una línea de alta tensión en el corazón del yacimiento, la instalación de la que conlleva la apertura de un camino que afectó una buena parte de las estructuras.

Pertenece al mapa (444) Flix que forma parte de las provincias de Tarragona y Lérida. Geológicamente pueden distinguirse dos unidades principales, de comportamiento bien distinto. El tercio sureste está constituido por el Macizo del Priorato, que forma parte de la Cordillera Prelitoral catalana. Y el resto de la hoja queda enmarcada en la Depresión del Ebro. El Macizo del Priorato corresponde a una estructura elevada de más de 200 m de longitud que separa la Depresión del Ebro de las existentes al Sur y Sureste. Toda la región está constituida por facies detríticas rojas del denominado Triás Germánico que se encuentran en dos tramos. El inferior donde abundan conglomerados de cantos predominantes de cuarzo y cuarcita, de color rojo y escasamente cementado, con presencia de arenas y areniscas rojas con estratificación cruzada. El tramo superior está constituido por arcillas rojas y verdes con débiles pasadas de areniscas lentejonar con estratificación cruzada. En la región tan solo existe una mina, que ha producido galena. (COLODRÓN et al, 1980).

Se ha comprobado la existencia de una serie de espacios en la construcción donde fueron utilizados adobes para completar los zócalos hechos de piedra. En el asentamiento fueron diferenciados dos tipos de estructuras: el entorno propiamente dicho, con las actividades propias de la vida en un poblado y el área relacionado con los elementos defensivos. Entre los componentes de la pasta del adobe utilizado en la construcción de las casas, se ha observado la presencia de restos de cereales y en algunos ambientes se han conservado restos de estucos pintados con una gama cromática que comprende diferentes tonalidades de rojo y blanco (GENERA, 2009).

5. Sant Miquel de Vinebre

El cerro de Sant Miquel está a 100 m sobre el nivel del mar, en el contrafuerte de la cordillera prelitoral y se extiende 1,5 km al sudeste del pueblo de Vinebre. Se encuentra a

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

la orilla izquierda del Ebro, antes de Ascó, a unos 80 kilómetros de Tarragona. Son estructuras que conforman todo un perímetro, que cierra un complejo de construcciones muy adaptadas a la morfología del terreno, correspondiente a la etapa final de la época ibérica (GENERA, 1994, 2006).

El establecimiento de Sant Miquel de Vinebre se sitúa en el mapa (444) denominado Flix que forma parte de las provincias de Tarragona y Lérida. Las características de esa región fueron presentadas anteriormente.

Las primeras noticias referentes a su descubrimiento fueron publicadas por Carmel Biarnés de Ascó a través del Correo Catalán en 1968. Posteriormente, se dieron más informaciones a través de las publicaciones de M. Sanz en el Boletín Arqueológico de Tarragona el año 1973 y el 1982. A partir del año 1976 tuvieron lugar los primeros trabajos de prospección a los que procedieron una serie de campañas de excavación que continúan hasta época actual (GENERA, 2005).

Después de las prospecciones hechas en el año 1976, ocurrieron ocho campañas de excavación entre los años de 1977 y 1984. Entre los años 87 y 89 fueron hechas tres intervenciones de limpieza y consolidación de las estructuras más dañadas de aquel establecimiento, además del estudio del yacimiento al pie del cerro. En 1992 se ha hecho una campaña de excavación que ha permitido poner al descubierto la planta casi completa del recinto que aparece en la parte más alta del establecimiento.

Todas estas investigaciones han permitido comprobar la existencia de dos sistemas defensivos claramente diferenciados y que permiten percibir diversas etapas de planificación constructiva en un lapso de tiempo muy corto (GENERA, 2005). Sin embargo todos los datos indican la existencia de un solo nivel de ocupación (GENERA, 2006). Así mismo, por las características observadas se puede atribuir a este establecimiento unas funciones de tipo militar y a la vez comercial por vía fluvial.

La superficie que alcanza 2.200m² comporta un punto estratégico con grande dominio panorámico y de control de la zona y, en su ámbito visual hay un gran número de establecimientos ibéricos y de época romana. Estando en la proximidad de la ruta que conduce a la cuenca minera de El Priorat, a través de **la localidad de La Torre de l'Espanyol**, que confiere gran importancia y control de esa vía que une la parte interior con la arteria fluvial del Ebro.

La región posee agua abundante al alcance, aportada por el mismo río y por las fuentes de los afluentes y, pequeños nódulos de sílex que se encuentran claramente diferenciados de otras formaciones de la zona. Esos elementos podrían tener contribuido

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

como factores justificantes para la elección de ese lugar para la implantación de ese establecimiento humano.

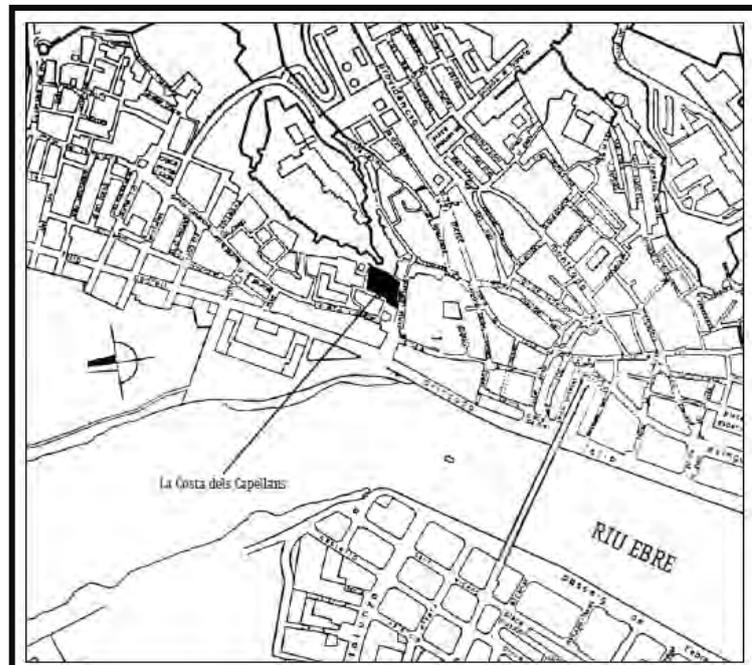
Además de la trama urbana, gran parte de las investigaciones sobre ese yacimiento fueron centradas en las construcciones defensivas, que evidencian la existencia de unas estructuras formadas por murallas y adobe; muros de contrafuerte; unos recintos adosados, que contribuirán para la estabilidad de la muralla y una posible torre (GENERA, 2005).

En las investigaciones hechas fueron documentados en el yacimiento un amplio repertorio de material cerámico y adobes. El establecimiento se sitúa cronológicamente en un periodo entre el último cuarto de siglo II y la segunda mitad del siglo I a. C. (GENERA, 2006).

6. Costa dels Capellans

El yacimiento de la Costa dels Capellans está dentro del núcleo urbano de la ciudad de Tortosa, comarca del Bajo Ebro. Precisamente en la ladera de la antigua terraza fluvial en la margen izquierda del río Ebro.

Figura 3.5 - Plano del emplazamiento del solar de la Costa dels Capellans núm. 5 - red urbana de Tortosa²³



Fuente: GENERA y JÁRREGA, 2009

²³ Imagen cedida por la Dra Margarida Genera i Monells. En GENERA, M. y JÁRREGA, R. (2009): Aproximació a la Dertosa Romana. Resultats de les investigacions arqueològiques al solar de la Costa dels Capellans, núm. 5. Tortosa (el Baix Ebre). Ed. Margarida Genera i Monells. p. 26.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

La calle llamada hoy Costa dels Capellans arranca del punto donde se encuentran la plaza de Santa Ana y la calle de la Cruera. Sube en una pronunciada pendiente entre la Catedral y el antiguo Hospital de Santa María, cuando llega al nivel del ábside, continúa planeando bajo la vertiente meridional del castillo de San Juan o de la Suda hasta entroncar con la calle del Castillo, que discurre entre la vertiente oriental del cerro, donde se levanta la fortaleza tortosina y el edificio de los Reales Colegios.

Pertenece al mapa (522) Tortosa que tiene en su mitad oriental la terminación meridional de Los Catalánides. Sus límites meridional y septentrional están en tierras de montañosas de Montsiá y Cardó, respectivamente. Dos tercios de la región están ocupados por el delta del Ebro, que le añade complejidad en referencia a los distintos tipos de ambientes, subambientes y depósitos deltaicos. Posee abundancia de dolomías (carbonato de calcio y magnesio), calizas, alternancias de margas y margocalizas, conglomerados (areniscas, gravas, cuarcitas, granito, limos, etc.), mica blanca, arcilla marina, limo fluviomarino y materia orgánica variada (Delta del Ebro), cantos esferoidales y nódulos ferruginosos/calcareos. La región, por ser rica en acuíferos, tiene una gran explotación de agua subterránea. Además de sustancias útiles y rocas industriales, como sal (salinas de la Secanella y de Rana); turba (entre San Carlos de la Rápita y Amposta); yeso (Venta del Ranchero); arcillas verdosas-grises-azuladas, margas azuladas y limos (La Aldea – Sant Onofre); arenas (delta del Ebro): gravas (de La Aldea a Tortosa, cerro de Sant Onofre y Puig Rodó, Campo de Tiro de Amposta, Roquetes, Vinallop, Casa de Cabosa y La Riera de **Masdenverge**); calizas (**Amposta a Tortosa, Mas d'en Carrasca, Raval de la Llet**) y prospección de hidrocarburos (Amposta, Casablanca y Tarragona) (MALDONADO et al, 1979).

El topónimo de nombre Costa dels Capellans es pos medieval. En la Edad Media (s. XII-XV), en los documentos consultados (GENERA y JÁRREGA DOMÍNGUEZ, 2009), es llamada Costa de Santa María en función del muro lateral de la antigua catedral románica y de las fachadas del Horno de La Canonja y de la Enfermería, dos dependencias importantes de la Canónica de Santa María.

Durante la construcción de la catedral gótica, al menos desde el 1345, la calle aparece también llamada calle de la Obra de la Sede por donde los sillares que bajaban por el Ebro desde las canteras de Flix y Riba-roja eran desembarcados ante el Portal de Tamarit, inmediato a la Costa, y subidos por la vía más corta breve al pie de la obra.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

La Costa dels Capellans fue uno de los lugares afectados por la construcción de la catedral gótica (s. XIV-XVIII), junto con la calle de las Tablas Viejas, la propia calle de la Cruera, la plaza del Olivo y la calle de la Zuda, que limita el espacio donde se levantó el edificio catedralicio y la Canónica de Santa María. En la Costa dels Capellans se levantaron las primeras estructuras para empezar la catedral por la capilla y torre de San Pedro y fue donde los constructores tuvieron que hacer una excavación más profunda respecto al nivel de la calle para los cimientos.

La Costa dels Capellans era una de las calles de límite de la catedral y la canónica, con los de la Cruera y Tablas Viejas, donde se levantaban las casas de las dignidades canónicas y las fincas urbanas que tenían adscritas.

En el tramo más bajo de la calle, a mediados del siglo XIV había algunas casas ocupadas por eclesiásticos y laicos relacionados con la canónica y también una capilla dedicada a Santa Lucía, que era propiedad del monasterio de Benifassà.

Actualmente, la Costa dels Capellans, nombre derivado probablemente de las propiedades inmobiliarias de los eclesiásticos que servían en la sede y de la presencia y deambulación de eclesiásticos que se observaba continuamente, es una vía de poco tránsito, sobre todo desde que hicieron a los escombros de edificios y las excavaciones del sector de la cúpula de la catedral y urbanizó la zona con unas escaleras que salvan el desnivel que hay entre la Costa dels Capellans y la calle de la Suda.

Hasta hoy, en esta misma calle se han estudiado varios solares: los correspondientes a los números 4, 5 y 7. El arquitecto Joan Abril y Guanyabens, en un sondeo efectuado a comienzos del siglo XX, el cual correspondía al número 7, comprobó la existencia de vestigios antiguos: entre ellos se han destacados varias lápidas con inscripciones romanas, elementos constructivos moldurados y restos de mosaicos. A raíz de estos hallazgos se planteó una primera hipótesis, según la cual en este sector se encontraría el recinto de la antigua Dertosa²⁴. Trabajos posteriores han permitido constatar que los vestigios más antiguos localizados hasta hoy en Tortosa se concentran principalmente en esta zona de la ciudad.

La etapa de intervenciones importantes empezó entre los años 1983 y 1985, con la actuación de la Dr^a Margarida Genera conjuntamente con la colaboración de otros investigadores, que por primera vez se llevan a cabo excavaciones arqueológicas en la ciudad. Los terrenos investigados correspondieron a los números 4 y 5 que estaban

²⁴ Dertosa es una ciudad de la Hispania romana que corresponde a la actual ciudad de Tortosa.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

relativamente alejados y las características del terreno eran muy diferentes. Finalmente, durante los meses de enero y febrero de 1985 se llevó a cabo la intervención, en el número 5 de la misma calle, de una duración total de 20 días, con resultados más significativos.

A partir de esa época se han efectuado, entre los últimos años del siglo XX y los inicios del XXI, algunas intervenciones más, tanto en el casco antiguo como en la ciudad propiamente dicha.

A pesar de tratarse de espacio muy reducido, de poco más de 12,5 m², fueron localizadas una gran concentración de cerámicas, que se atribuye a un pequeño vertedero de carácter doméstico, hipótesis corroborada tanto por los porcentajes y la naturaleza de los materiales depositados, así como por el estudio geológico de los diferentes niveles identificados. Sin embargo, los materiales, a pesar de ser cronológicamente homogéneos, aparecen bastante fragmentados (no ha sido encontrado casi ningún perfil entero), por lo que esto se podría deberse bien a las remociones posteriores y que en la época romana estos materiales se encontraban en posición secundaria, es decir, que hubieran sido transportados junto con las tierras desde algún vertedero situado en algún otro lugar, no muy lejano. La presencia de materiales de época medieval y moderna (así como la fragmentación de gran parte de las cerámicas romanas), obligó el replanteamiento del origen de este depósito, exponiendo así otras interpretaciones posibles. Las investigaciones mostraban que del punto de vista cronológico los materiales estudiados podrían situar la zona en un momento comprendido entre el último cuarto del s. II y mediados del I a. C., hasta la época del siglo I d. C. (GENERA, TERRADO y LORENZO, 2010).

También se pudo observar que la última construcción del solar se hizo adosada a la roca viva, que muy posiblemente se había recortado en época romana ya que en el transcurso de las investigaciones apareció la primera hilada de un muro muy arrasado, con restos de estucos muy desmenuzados que formaban parte de la argamasa, sobreponiéndose a la línea recorte de la roca y en parte siguiendo la misma dirección.

Además de eso, referencias significativas posicionan Dertosa como importante puerto marítimo y fluvial, lo que está por ser averiguado por futuras investigaciones arqueológicas.

7. Villa de Barrugat

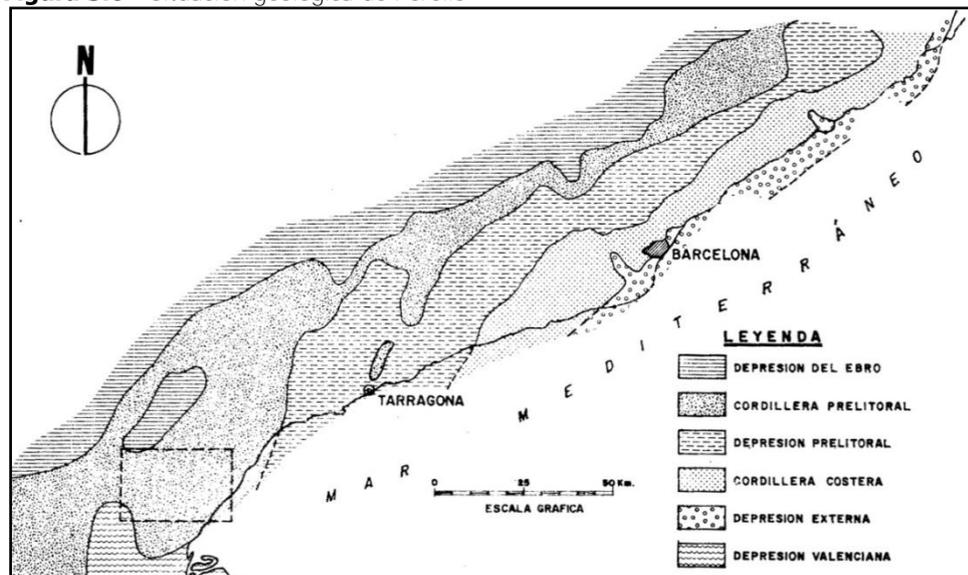
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Situada en Bitem, al norte del barrio de Santa Rosa, en el lado izquierdo del Ebro, dentro del término de Tortosa, en el Bajo Ebro, unos 7 km al norte de esta ciudad, justo en el km 7.1 de la carretera que une esta localidad con la de Tivenys, delante mismo del pueblo de Aldover, al otro lado del río. Es un yacimiento notable y una gran villa romana que revela una larga ocupación entre la baja república y la antigüedad tardía que se localiza en la proximidad de la antigua Dertosa.

A pocos cientos de metros de la villa romana, hacia el este, en la cima de una pequeña colina, llamada Planetas o Monte de Barrugat, se conservan los restos de un poblado de época ibérica. Y entre esta elevación y la villa está la partida del Hort dels Xiprers donde se han encontrado algunos indicios que hicieron presuponer la existencia de una necrópolis romana que habrá de confirmarse en estudios futuros.

La región se sitúa en el mapa (497) Perelló que es el sector meridional de la Cordillera Prelitoral Catalana, que queda comprendida entre las depresiones del Vale Inferior del Ebro y de Reus (Figura 4). Afloran arcillas rojas, areniscas de grano fino, capas de calizas y margocalizas que llegan a predominar sobre las margas (barranco de la Fullota), dolomías, abundancia de carniolas, conglomerados, cantos calizos y dolomíticos, yeso. Dentro del ámbito de toda la región sólo existe una mina, abandonada, en que se explotó wolframio. Las canteras tampoco son abundantes, existiendo actualmente dos en explotación de calizas en las inmediaciones del Coll de Som. Antiguamente se explotaron los yesos del Trías mediante calicatas o pequeñas canteras, en régimen familiar. En el sector de Perelló se explotó gravas para la construcción de la carretera de Tarragona a Castellón, pero actualmente están abandonadas (ORCHE et al, 1980).

Figura 3.6 - Situación geológica de Perelló



Fuente:Orche, 1980

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Las investigaciones sobre esa villa romana de Barrugat comienzan a raíz de su descubrimiento en 1910, cuando, en ocasión de la apertura del canal izquierdo del Ebro, se encontraron una serie de estructuras arquitectónicas, que fueron documentadas por el arquitecto Joan Abril y Guanyabens (GENERA, 1984). Ese autor publicó una memoria de su actuación en la que identificó acertadamente estas estructuras como los baños de una villa romana.

Precisamente, con el motivo de las obras de revestimiento de dicha canalización que coincidió con las lluvias del invierno del año 1984 y, que provocaran el desprendimiento de los bordes del canal y pusieran al descubierto los restos de varias construcciones, se llevó a cabo una intervención con el principal objetivo de recuperar los materiales que se encontraban en su interior (provenientes de los desprendimientos de tierras de ambos márgenes), documentar todas las estructuras que aparecían en ambos lados de dicha obra hidráulica y realizar la planimetría del asentamiento.

La investigación del establecimiento de Barrugat fue llevado a cabo en el año de 1985; con un equipo, multidisciplinar, bajo la dirección de Dra. Margarida Genera. Y aunque los trabajos se efectuaron con carácter de urgencia, los resultados obtenidos se acercaron mucho más al mundo rural, ya que permitió conocer una villa de grandes dimensiones que siempre ha estado vinculada con la historia del canal de la margen izquierda del Ebro, donde se vivieron etapas de gran lujo y suntuosidad. Muestra de ello son las diversas habitaciones con ricos estucos y pavimentos y un conjunto termal imponente que fue decorado con mosaicos.

La conclusión de los hallazgos arqueológicos, hecha por la Dr^a Margarida Genera, nos muestra que el yacimiento de Barrugat fue una villa rústica que, habitada y con actividad durante la época de Roma, sobrevivió a la caída del Imperio y mantuvo su vigencia durante el tiempo visigótico. El establecimiento habría sido activo al menos entre el s. II a.C y el VI d.C., en un momento en que habría sido abandonado a raíz de un incendio, indicios que son visibles en una parte del yacimiento.

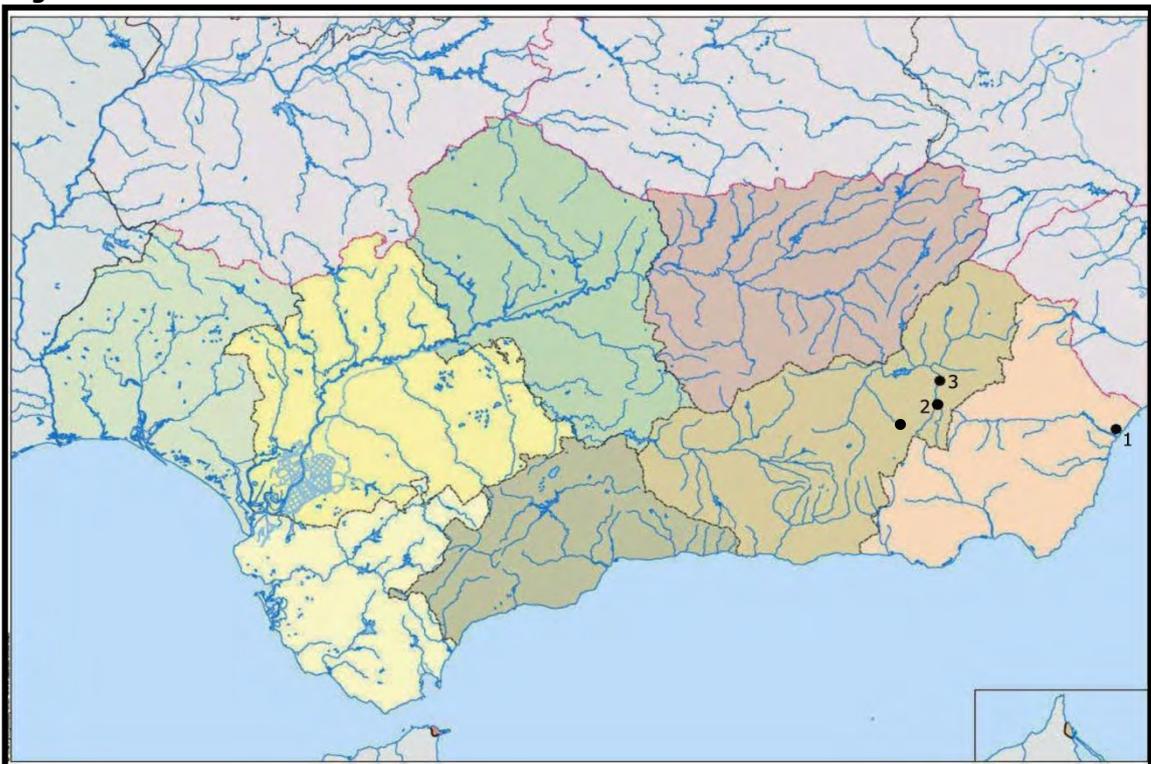
En el sondeo I se ha documentado dos muros, que formaban ángulo recto, de una sola alineación de piedras, sin argamasa y con sillares irregulares. Estos muros se asentaban directamente sobre un estrato arcilloso sin ningún tipo de fundamento. En el momento de la limpieza se ha localizado restos vasijas y adobe. En este mismo tramo, otra concentración de ladrillos indica la posibilidad de una antigua construcción hecha con arcilla. En los Sondeos IX-X-XII, en el Recinto 1, se observan bloques heterogéneos unidos con argamasa de cal,

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

además de cantos rodados y tierra apisonada. En los sondeos T-T', se ha documentado parte de tres habitaciones (T1, T2 y T3), dos de las cuales pavimentadas con mosaicos y el inicio de una cuarta habitación (T4), donde se ha encontrado algunas teselas sueltas (GENERA y JÁRREGA DOMÍGUEZ 2010).

3.3.2 Sur de la Península Ibérica

Figura 1.7. - Yacimientos del sur



1-Villaricos (Baria), 2-Cerro Cepero (Basti), 3-Cerro del Santuario

Las muestras del sur de Península Ibérica proceden de tres yacimientos.

8. Villaricos (Baria)

La antigua ciudad de Baria situase en la costa sudoriental, en la provincia de Almería. Está en una zona entre los cabos de Palos y Gata, que forma un pequeño golfo en donde desemboca el río Almanzora, que a su vez desagua en el mar Mediterráneo. Tiene como

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

punto más alto del yacimiento sobre el nivel del mar, el Cerro de Montroy, con una altitud de 36 metros.

La configuración del terreno de Villaricos ha cambiado desde la antigüedad, ya que en nuestros días la zona más baja del mismo ha ganado al mar una extensa área que en otros tiempos estaban cubiertas por sus aguas y por el caudal del río Almanzora. Estos arrastres del río rellenaron el estuario del mismo junto al mar, que a su vez se ha retirado algunos metros de la costa. Todo esto unido al hecho de que el río se encuentra actualmente seco, ha dado lugar a que el paisaje costero de la zona sea distinto de los tiempos antiguos, cuando la ciudad de Baria fue un importante puerto comercial y los colonizadores de época prehistórica irrumpieron tierra adentro por el río (ALMAGRO, 1986).

Geológicamente se sitúa en la conjunción de los mapas: (1045) Almería, que está formado por dos regiones, la parte más oriental de la Sierra de Gádor (altitudes máximas de 750 m) y la Sierra de Alhamilla. Ambas pertenecen a la zona interna de las Cordilleras **Béticas, conocida como "zona bética"**; (1046) Carboneras, que abarca el sureste de Andalucía, en la parte de la costa oriental de Almería y (1059) El Cabo de Gata e Isla de Alboran, que comprende parte de la costa meridional de la región y contiene la mayor parte del Golfo o Bahía de Almería. Los materiales aflorantes en la región forman parte de una gran alineación leste-oeste que desde Málaga llega hasta Almería, al Sur de la Sierra Nevada. Estos materiales pueden pertenecer a varias unidades tectónicas. De esa región afloran rocas carbonatadas (alto contenido de hierro), rocas cuarzo-albiticas, rocas volcánicas, tobas poligénicas, areniscas rojizas, cuarcitas, margas (arenosas, amarillentas, marrón-claro a verde, yesíferas), calizas, conglomerados de rocas volcánicas, limos y arcillas detríticas rojizas y rosadas, pizarras, limonitas verdes, cantos, dolomías (verde a negro), yesos, grafitos, mármoles amarillos, calcita, granate, limonita, mica incolora, micasquistos (**marrones, negros a gris**), **"terra rossa" (arcillas de decalcificación)**, minerales de titanio (rutilo), turmalina y circón. En tiempos pasados la Sierra de Gádor era famosa por sus minerales ricos en galena. En la Sierra de Alhamilla se explotaban minerales de hierro en la región de la Mina de La Victoria; galena-cinc y plata en la Mina de La Sobrina. Las rocas carbonatadas han sido explotadas en épocas pasadas en sitios entre Baños y Mina Felisa. En la mina de Coto Laisquez se han encontrado oído de cobre y galena. En la parte oeste de la región se han explotado azufre nativo amarillento junto con alunita. También se localizan algunas canteras de yeso situadas a la salida de Almería hacia Málaga. De las Ramblas se extraen arenas y áridos para la construcción y del Andaluciense calizas de algas para fabricación de cemento. En Carboneras ha tenido explotación aurífera, de plomo, zinc y

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

cobre en yacimiento de Rodalquilar; de galena, plomo y plata en el Alpujárride; hierro en el extremo norte de la Sierra de Nijar; antimonio junto a la aldea de El Argamasón y manganeso en Cerro de La Tortola. Los silicatos industriales explotados son de bentonitas (La Loma y Sierra de Nijar), granates (afloramiento volcánico de Hoyazo). Las explotaciones importantes de rocas industriales y canteras son para adoquines (Cerro de Los Lobos y Mesa de Roldán), tobas poligénicas y filones de calcita-aragonito (VELASCO et al, 1983).

Los colonos prehistóricos y los posteriores ocupantes de esa región no la eligieron al azar, sino por ser la franja de mayor riqueza minera de la comarca y por tener fácil acceso a todas las sierras desde la costa.

El yacimiento fue excavado a principios del siglo XX por el ingeniero belga Luis Siret, que pusieron al descubierto las balsas de salazón de Villaricos, similares a las balsas púnicas de garum de los establecimientos del norte de Africa y a las de Baelo en Cádiz (MOLINA GÓMEZ, BLANCO y CARPIO, 2004). Fue estudiado posteriormente por la arqueóloga francesa Mirian Astruc.

De los años 1975 a 1978, M^a José Almagro realizó excavaciones y publicó las campañas de ese año. En 1987, como consecuencia de iniciativas urbanísticas privadas se efectuaron una serie de excavaciones de urgencia en el área de la ciudad fenicia y de la ciudad romana bajo la dirección de José Luis López Castro y Trinidad Escoriza Mateu, la primera que se realizaba en el área ocupada por la antigua fundación fenicio-púnica de Baria (LÓPEZ CASTRO, 2011). Se emprendieron estudios de los materiales arqueológicos procedentes de la necrópolis de Villaricos, que estaban conservados en el Museo Arqueológico Nacional, en los años 90 de este siglo. Bajo promociones privadas, siguieron excavaciones de urgencia de los años 1988 hasta 2003. Con todos estos estudios, los investigadores indican una cronología entre los siglos VI y IV a. C.

9. Cerro del Santuario

La necrópolis de Cerro del Santuario fue excavada entre 1968 y 1971 documentándose un total de 179 enterramientos, pudiendo destacarse la T-155 en cuya cámara fue localizada la estatua de la Dama de Baza, interpretada como una estatua de una divinidad ibérica inspirada en modelos helenísticos (CABALLERO et al, 2013; ADROHER y CABALLERO, 2008c). Se localiza en el sureste de la Península Ibérica, dentro de las

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

altiplanicies granadinas en la Hoya de Baza. Se sitúa en una pequeña colina ovalada que hoy día tiene una extensión aproximada de 0.6 ha y que apenas supera los 6-9 m sobre la llanura adyacente. La topografía actual está muy transformada debido al cultivo de los terrenos colindantes, las excavaciones arqueológicas y los desmontes para la construcción de un campo de tiro y un camino (GONZÁLEZ, 2012).

La región pertenece al mapa (994) Baza, que se sitúa en el sureste de España, dentro de las provincias de Granada y Almería. Forma parte de las Cordilleras Béticas y está representada por los Complejos Nevado-Filábride y Alpujárride (Sierra de Baza y Sierra de las Estancias). Entre los materiales que afloran tenemos mica blanca, cuarzo, granate, biotita, grafito, óxido de hierro, rutilo, circón, apatito, carbonato, mármoles, turmalina, calizas, margas, margocalizas (grises azuladas y amarillentas), sílex de color blanco, dolomías (grises y negras), arcilla, cuarcitas (rosadas, verdosas y blancas), andalucitas, micasquistos oscuros, conglomerados de naturaleza calizo-dolomítico y matriz arenosa, limos, yeso, cantos y gravas. El mayor interés minero se encuentra principalmente en el sector de la Sierra de Baza, con explotación de fluorita y galena. Las canteras importantes son las que aprovechan áridos de calizas (Carretera de Caniles-Abla) y dolomías alpujárrides (Baza y El Hijate); mármoles (Nevado-Filábrides) e yeso (Rambla de Valcabra) (SALAZAR et al, 1980).

El asentamiento del Cerro del Santuario estuvo en funcionamiento durante unos cien años, desde el 400 al 300 a.C. aproximadamente (ADROHER y LÓPEZ, 1992). Es una de las tres necrópolis asociadas al *oppi dum* de *Basti*, en Cerro Cepero. Las otras dos son Cerro Largo, con una cronología entre los siglos V-II a.C. (CABALLERO, 2008), por lo que coexistió con Cerro del Santuario a lo largo de la duración de ésta; y Las Viñas, datada en los siglos III-II a.C., lo que significaría que empezó a funcionar a partir de la fecha en que Cerro del Santuario dejó de hacerlo.

El yacimiento de Cerro del Santuario tiene la cronología correspondiente a la Época Plena del Periodo Ibérico, momento en que la aristocracia se convierte en el centro de poder. Se empiezan los programas urbanos, a construir murallas y surgen las grandes necrópolis.

En consecuencia de ese periodo, ocurre una transformación en el ritual respecto al Ibérico Antiguo. Se permite a un mayor número de individuos el derecho de enterramiento, ampliando el espacio funerario y dando lugar a grandes necrópolis conformadas por centenares de tumbas (PEREIRA, MADRIGAL BELINCHÓN y CHAPA BRUNET, 1998).

El estudio se concentra en la tumba 183 de esa necrópolis ibérica. Se trata de una tumba construida en varias fases pero que presenta las características de haber sido construida por completo por una superestructura en adobe.

10. Cerro Cepero (Basti)

Es un yacimiento de unas seis hectáreas de extensión, muy próximo a la autovía A-92N, en la salida del Hospital Comarcal, en Baza - Granada. Es un cerro de fácil acceso que tiene al fondo la Sierra de la Sagra, lo que nos permite hacer una idea del amplio espacio que ocupa el territorio hasta la vecina Tútugi al norte.

Pertenece al mapa (994) Baza, que fue ya fue descrito anteriormente.

Esa región fue excavada irregularmente y de manera diversa desde los años cuarenta, por diferentes equipos de arqueólogos. Y actualmente el yacimiento es objeto de estudio del Centro de Estudios de Arqueología Bastetana.

La zona hace parte de la cuna de los pobladores de una extensa región que han recibido el gentilicio de bastetanos al comienzo de la conquista romana en el siglo III a.C. La conquista romana comenzó con un proceso de monumentalización de la ciudad, que continuó hasta el siglo III d.C. A partir de ese momento ésta entra en una decadencia, que terminó con su abandono en el siglo VIII d.C, trasladándose el topónimo a la actual ubicación de Baza, como *Madina Bazta*. (ADROHER, 2008a; ADROHER et al). Además de eso, la región también contiene vestigios de valiosas necrópolis y murallas con bastiones cuadrangulares macizos que circundan el cerro y que aportan una importancia histórica innegable.

En el cerro se puede observar algunos restos ibéricos. Y el principal de ellos es la muralla, que aflora en tres puntos de ladera: en la zona norte, una barranco en formación ha hecho aflorar un paramento de la muralla, donde fue posible documentar la existencia de un declive exterior de adobe adosado a la misma; en la noroccidental, la construcción de un camino rural destruyó parte de la muralla, dejando al descubierto una parte de muralla y un bastión cuadrangular macizo; y en la ladera sur, se encuentra un tramo de unos 20 m de longitud, con un bastión cuadrangular macizo, y una abertura contigua, que se corresponde con una de las puertas del yacimiento. Se estima que la muralla tuvo unos 4 m de anchura y fue construida con un zócalo de piedra, con dos paramentos de sillarejo y un relleno de cascajo en el interior, y un alzado de adobe. En las laderas con mayor pendiente, como la septentrional, se le adosó un talud de adobe para reforzar la base. Estos adobes parecen que fueron unidos a seco o ligados con tierra sin que parezca existir un problema estructural

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

de sustentación. Y los muros están revocados con argamasa, que no suele conservarse. En la excavación de 2005 se documentó los restos de un armazón de madera necesario para la construcción del alzado de la muralla, así como los restos de las tareas de repiqueteado del sillarejo.

También en la campaña de 2005, en la meseta superior del cerro, se excavó la terraza superior del foro romano, bajo el cual se documentó la existencia de una serie de casas ibéricas, construidas con zócalos de cantos de río y alzados de adobe, que fueron arrasadas en torno al siglo I a.C. para la construcción de la plaza. La excavación en extensión de esta meseta está todavía en un estado inicial, pero en próximos años se desvelarán algunas incógnitas importantes en torno a la evolución de Basti como núcleo urbano.

Cronológicamente el yacimiento de Cerro Cepero se sitúa en el siglo II a.C.

3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.4.1 Introducción

Existen numerosas investigaciones sobre la arquitectura de tierra o construcción con tierra cruda en los que se puede apreciar la amplitud de métodos que requiere una investigación de estas características (ALEJANDRE SÁNCHEZ, 2002; RUBIO ALONSO et al, 2006; SÁNCHEZ HERNÁNDEZ et al, 1998, 2000; ORTIZ SANZ et al, 2000; SORROCHE CUERVA, 2000; VELA COSSÍO, 2003; RUIZ, 1995, 2005; KANAN y POLLI, 2006; GRACIANI GARCÍA et al, 2006, 2008; DUERI, 2010), tanto en estudios sistemáticos como locales. Ejemplos notables de ello se encuentran en NÉSTOR (2002), AGUDO (2006) y NOGUERA CELDRÁN (2002). La caracterización composicional (mineralogía y/o composición química de los materiales empleados y su textura) constituyen la base de cualquiera de estos trabajos (SCAPIN, 2003; GOMES DE AMORIN, 2007; CASTILLA PASCUAL, 2004; GONÇALVES SILVA y ROBADOR GONZÁLEZ, 2006; CAMPOS SUÑOL y TORRE LÓPEZ, 2006).

Junto a este tipo de análisis, otras investigaciones inciden en la necesidad de una correcta caracterización morfológica (VILLASEÑOR, 2009; ÁLVAREZ PEREZ et al, 2009), física (TABOADA, 2005) y/o mecánica (JARAMILLO MORILLA et al, 2000) de los sistemas de construcción basados en tierra cruda, buscando con ello un mejor comportamiento estructural. Otro tipo de estudios (actividad sísmica local y posible deterioro natural del material) pueden complementar la información y requieren técnicas específicas (RIVERA TORRES et al, 2005; MALDONADO RONDÓN y CHIO CHO, 2009).

El análisis de imagen de las distintas texturas presentes en este tipo de material constituye una herramienta adicional de caracterización (FERREIRA DA COSTA, 2007), que complementa las observaciones realizadas mediante microscopía óptica y que permiten detectar, por ejemplo, las preparaciones y procesos previos a su aplicación (FERRER GARCÍA, 2010).

La metodología empleada en el estudio de la arquitectura de tierra y su evolución tecnológica ayuda en intervenciones de restauración (CALAMA RODRÍGUEZ y CAÑAS PALOP, 2005), conservación y, sobre todo, generación de proyectos arquitectónicos sostenibles (LOURENÇO, BRITO y BRANCO, 2002; GUERRERO BACA, 2011), tema de importancia actual dada la preocupación por la protección del medio ambiente. Se puede incluir aquí los métodos utilizados para monitorizar deterioros, que son justamente una herramienta muy

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

útil para comparar patrones de comportamientos de este tipo de construcciones (RODRIGO RAMOS, ROTONDARO y MONK, 2004).

Muchos de esos trabajos han favorecido la generación de bases de datos muy útiles en estudios posteriores de los materiales de construcción en tierra (ONTIVEROS ORTEGA, ESPINOSA y PARDO, 1997; SÁNCHEZ HERNÁNDEZ et al, 1998; POZO, CASAS y RUBÍ, 1999; ALEJANDRE SÁNCHEZ, 2005). Y se confía que el aporte de esta tesis contribuya igualmente en este sentido.

3.4.2 Consideraciones previas

El objetivo principal del trabajo es la caracterización de materiales constructivos fabricados con tierra. Con eso se puede indicar, con mayor grado de precisión, la procedencia del mismo; además de proporcionar particularidades que serán útiles a la hora de diferenciar muestras pertenecientes a un área u otra, en este caso asentamiento.

No obstante, la gran mayoría de los materiales analizados en esta memoria están constituidos casi en su totalidad por tierra en estado crudo, teniendo en algunos casos adiciones de otros elementos para su mejora.

Dicho eso, en este apartado de metodología se describe como fueron seleccionadas las técnicas analíticas y demás ensayos de laboratorio para el estudio de las muestras de elementos constructivos, teniendo en cuenta la constitución principal de las mismas y los métodos más apropiados para tal fin.

3.4.3 Toma de muestra, selección y preparación

Las muestras analizadas en esta investigación proceden de yacimientos en nordeste y sur de la Península Ibérica. Para el muestreo se han seguido las limitaciones de captación de estos tipos de materiales y la toma de muestra se ha realizado atendiendo a los siguientes criterios:

- a) Naturaleza del fragmento
- b) Representatividad en su grupo
- c) Tamaño de muestra
- d) Cronología del asentamiento

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

La preparación de las muestras se ha llevado a cabo siguiendo las especificaciones de cada técnica analítica utilizada.

3.4.4 Medida del color

Esta medida se ha efectuado en dos etapas siguiendo el siguiente procedimiento:

Una primera medición se ha realizado comparando la muestra con las placas de colores que componen cada una de las hojas de la tabla del sistema Munsell. Se ha utilizado como rutina el método en seco, con las muestras en condiciones uniformes y bajo luz artificial. Los registros de comparación con dicha tabla se han obtenido respetando siempre la misma área de estudio para que no hubiera diferencia en cuanto a incidencia de luz.

Los parámetros de las tablas de Munsell²⁵ utilizados han sido:

Matiz – Que mide el color espectral dominante (rojo, amarillo, verde, azul o violeta).

Valor – Que indica la luminosidad u oscuridad de los rangos de color de 1 (oscuro) a 8 (claro)

Croma – que indica la pureza o fuerza del rango de color desde 1 (pálido) a 8 (brillante).

Posteriormente, se ha procedido a una segunda evaluación del color en un grupo de muestras con el fin de comparar métodos. En esta etapa se utilizó la espectrometría como técnica analítica, que es un técnica que nos proporciona información cromática de la muestra analizada. Los colorímetros y espectrofotómetros permiten una determinación de las **coordenadas cromáticas del objeto con diversos tipos de iluminantes y pueden operar "in situ" con todas las ventajas para el estudio de materiales pétreos, evitando** innecesarias y destructivas extracciones de muestras (MAS I BARBERÁ, 2008, 151). Las coordenadas cromáticas han sido obtenidas mediante un espectrómetro Minolta CM700d (Figura 3.8) para determinar las coordenadas de cromaticidad y luminosidad de los fragmentos de adobes y morteros y para detectar diferencias entre las muestras, debido a su composición o su proceso de fabricación. Los colores son especificados por un diagrama bidimensional, llamado diagrama de cromaticidad y es recomendado por la CIE (Commission Internationale de l'Éclairage). **El sistema está basado en la teoría de colores opuestos: un colorno puede ser** al mismo tiempo amarillo y azul o rojo y verde. Por esta razón estos colores se sitúan en los extremos del diagrama de medidas del color. L^* es la variable luminosidad con valores comprendidos entre -100 (negro) y +100 (blanco), a^* y b^* son las coordenadas de

²⁵Munsell soil color charts, 2000.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

cromaticidad, variando a^* de -60 (verde) a +60 (rojo) y b^* de -60 (azul) a +60 (amarillo) (CULTRONE et al, 2005; CULTRONE, DE ROSA y RENDELI, 2011).

Figura 3.8 – Espectrómetro Minolta CM700



3.4.5 Captación de imágenes y microscopía óptica

Todas las muestras se han estudiado mediante captación de imágenes y microscopía óptica (Figura 3.9). Las imágenes de las muestras se han obtenido con la ayuda de una cámara Nikon, modelo D300, lupa electrónica Reflecta Digital Microscope con LCD Screen con cámara integrada (aumento de 20X) y microscopio estereoscópico Olympus modelo SZ61 con cámara acoplada modelo Altra20 (aumento 20x y 40X). El fin de utilizar la captación de imágenes ha sido profundizar en los estudios de análisis textural y composicional de las muestras seleccionadas. Además se observa la porosidad, la composición del árido y la matriz, la determinación del tamaño de árido y cuantificación del mismo, así como para examinar las zonas de contacto entre matriz-árido.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 3.9 – Captación de imagen



3.4.6 Caracterización textural

3.4.6.1 Una visión sobre textura

La textura, como elemento visual, sirve para caracterizar las superficies de los objetos (MUNARI, 1977) y establecer las proporciones relativas de sus diferentes elementos constitutivos (MILLAR, 1982; NÚÑEZ SOLÍS, 2000). Contiene información importante acerca del ordenamiento estructural de la superficie y sus relaciones con el ambiente que la rodea. Es una importante característica discriminativa de la imagen y su uso en clasificación digital de imágenes está basado en la necesidad de incluir patrones de variabilidad en este tipo de análisis (KUSHAWAHA, 1994), pues la clasificación de texturas permite la identificación de diversos objetos de estudio y optimiza su proceso ordenación.

El concepto de textura es básico en el estudio del elemento tierra, pues influye en sus propiedades hídricas y determina su grado de aireación a través de los poros, afectando en consecuencia a su consistencia.

Para el estudio textural hemos empleado los siguientes programas: Photoblend (Mediachance²⁶), ImageJ 1.45s (Wayne Rasband²⁷) y Adobe Photoshop Cs5 Extended (Adobe Systems Incorporated²⁸).

Los programas de software se han empleado para segmentar las imágenes obtenidas mediante lupa electrónica Reflecta Digital Microscope y microscopio estereoscópico Olympus

²⁶Mediachance - Copyright © 2010.PhotoBlend – New generation software for 2D/3D photo composition, photo mashups and 3D anaglyphs (Photoblend, 2012).

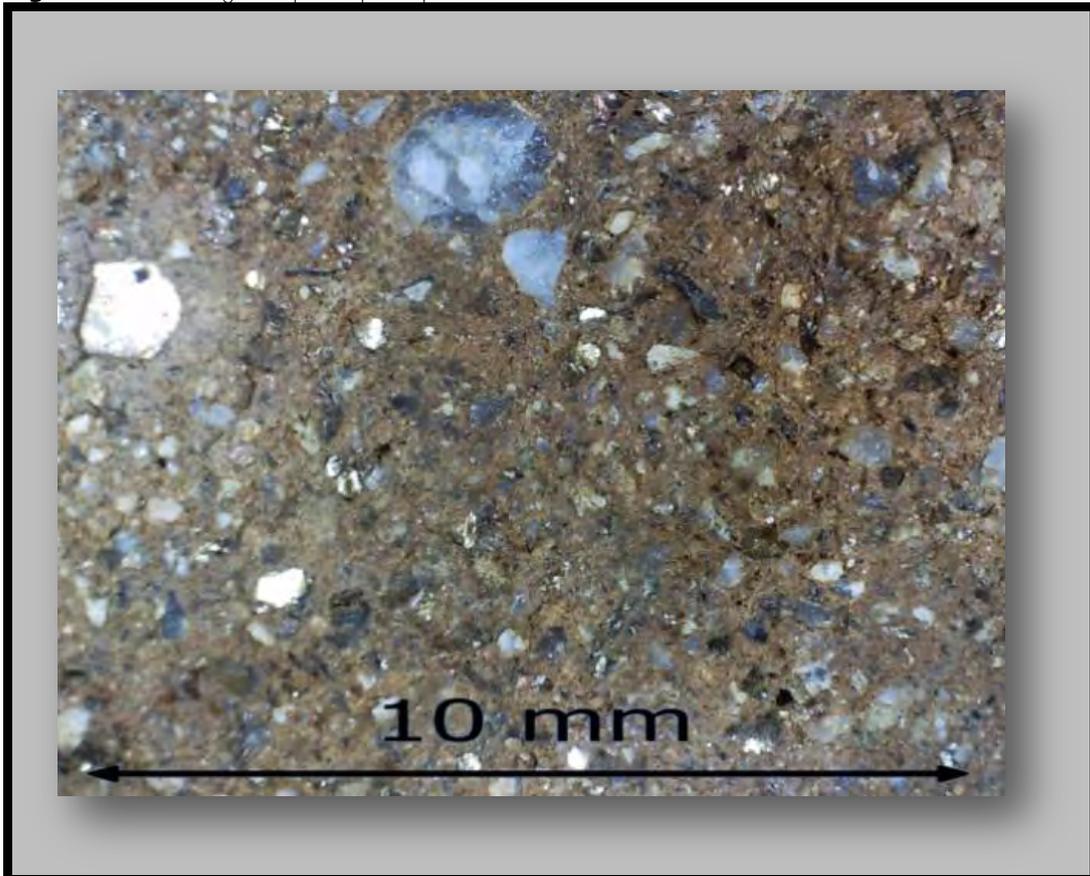
²⁷National Institutes of Health, USA . Image Processing and Analysis in Java 1.6.0_20 (32-bit). ImageJ is in the public domain (ImageJ, 2012).

²⁸Adobe Systems Incorporated - Copyright 1990-2010 (Adobe Photoshop, 2012).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

modelo SZ61 (Figura 3.10), detectar las estructuras y clasificar e interpretar las distintas texturas presentes, clasificando las distintas fracciones (texturas) minerales según diversos parámetros de aceptación internacional²⁹, como el diámetro de partícula (Tabla 3.1) y la distribución de granos (Figura 3.11). Las imágenes se han seleccionado y distribuido en grupos en función del tipo y naturaleza de la muestra y del yacimiento.

Figura 3.10 – Imagen captada por lupa electrónica



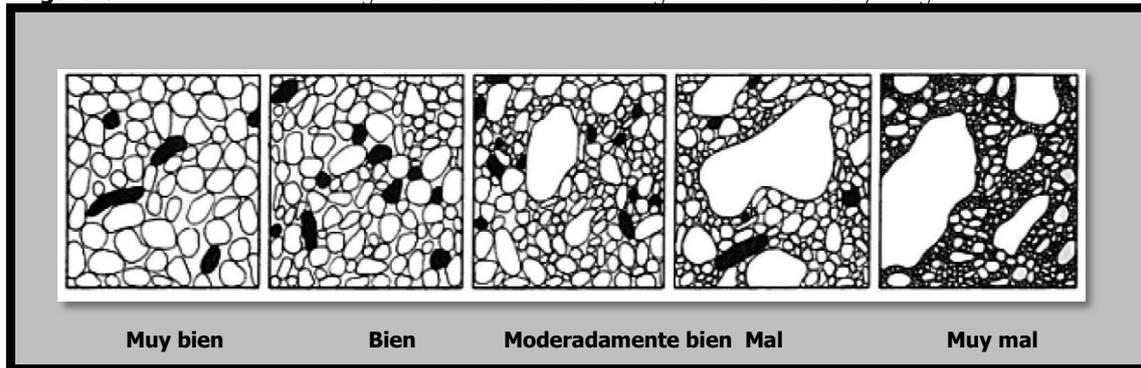
²⁹ Hay varios sistemas usados a nivel mundial para clasificar el tamaño de las partículas menores de 2mm. Los más usados son el sistema Norteamericano (USDA) y el sistema de Atterberg, reconocido por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (NÚÑEZ SOLÍS, 2000).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 3.1 – Clasificación por tamaño de partículas menores de 2mm

Sistema Internacional (ISSS – ATTERBERG)		Sistema Norteamericano (USDA)	
Nombre de la fracción	Ámbito en diámetros (mm)	Nombre de la fracción	Ámbito en diámetros (mm)
Arena gruesa	2.0 a 0.2	Arena muy gruesa	2.0 a 1.0
Arena fina	0.2 a 0.02	Arena gruesa	1.0 a 0.5
Limo	0.02 a 0.002	Arena media	0.5 a 0.25
Arcilla	menor de 0.002	Arena fina	0.25 a 0.10
		Arena muy fina	0.10 a 0.05
		Limo	0.05 a 0.002
		Arcilla	menor de 0.002

Figura 3.11 – Grados de homogeneización del tamaño de grano en areniscas y conglomerantes



Fuente: CORNELIS y HURLBUT, 2008.

La segmentación de imágenes en regiones, la detección de objetos y la clasificación e interpretación de imágenes tiene aplicaciones en una gran variedad de aplicaciones, incluyendo la geología y edafología (GIL RODRIGUES, 2008), y se ha convertido en una herramienta muy útil en los estudios arqueométricos.

Teniendo en cuenta que la textura es un rasgo notable de la arquitectura de una roca, referida a sus características morfológicas internas como el tamaño de sus granos minerales, los contornos de los mismos y sus relaciones mutuas (SEGURA SOTO, 1973); una propiedad innata a la naturaleza de todas las superficies (BARCELÓ, 2007); y considerada como un patrón³⁰(GIL RODRIGUES, 2008), en esta memoria se dedica una parte considerable de los resultados a su estudio y análisis.

³⁰El patrón es el ordenamiento de esos objetos en posiciones aleatorias o regulares dentro de una imagen. Los patrones regulares son típicamente de naturaleza humana, mientras que los patrones aleatorios son naturales (GIL RODRIGUES, 2008).

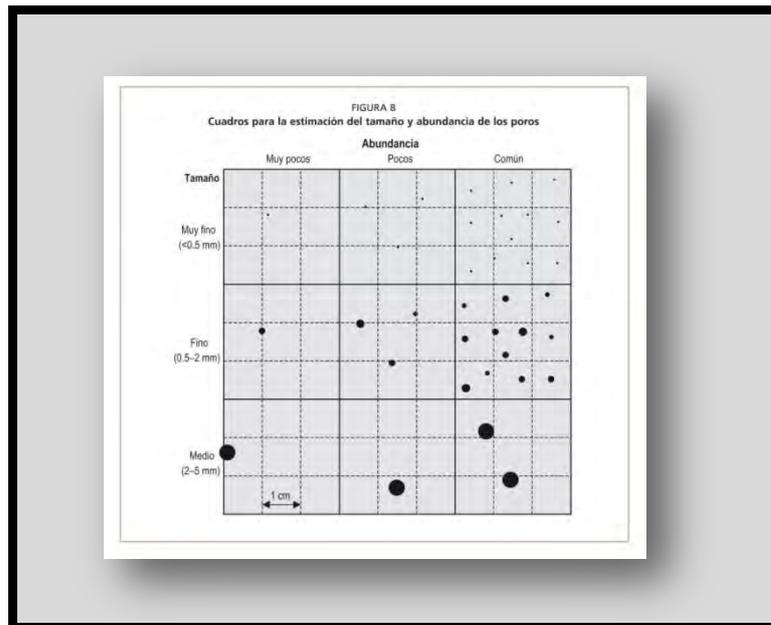
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

3.4.6.2. La porosidad

La porosidad de las muestras es el parámetro que indica el volumen total de espacios vacíos o huecos discernibles a simple vista o con una lupa. Se mide por área y se registra como el porcentaje de superficie ocupada por poros (FAO / ONU, 2009). Los poros o espacios vacíos forman parte de la textura del suelo y, por consiguiente, es una característica más de identificación en los materiales constructivos de tierra cruda (Figura 3.12).

La información obtenida por la medida de porosidad indica diferencias en el tipo de material empleado y de qué forma se trabajó. Los poros varían de tipología, tamaño, continuidad, abundancia y orientación (Tablas 3.2 – 3.5) (CASTRO et al, 2003).

Figura 3.12 – Estimación del tamaño y abundancia de los poros



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 3.2 - Clasificación del diámetro de los poros

Diámetro de los poros/mm		
V	Muy finos	<0.5
F	Finos	0,5-2
M	Medios	2-5
C	Gruesos	5-20
VC	Muy gruesos	20-50
Nota: códigos adicionales: FM. Fino a medio: FF, fino a muy fino: y MC, medio a grueso		

Fuente: FAO/ ONU 2009.

Tabla 3.3 - Clasificación de la abundancia de poros

Abundancia de poros			
		$< 2\text{mm}$ (numero)	$> 2\text{mm}$
N	Ninguno	0	0
V	Muy pocos	1-20	1-2
F	Pocos	20-50	2-5
C	Comunes	50-200	5-20
M	Muchos	>200	>20

Fuente: FAO/ ONU 2009.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 3.4 - Funciones y tamaños de los poros del suelo

Tamaño de los poros (mm diámetro)	Descripción de los poros	Funciones de los poros
<0,0002	Residual	Retiene agua que las plantas no pueden usar
0,0002-0,05	Almacenamiento	Retiene agua que las plantas pueden usar
>0,05	Transmisión	Permite que el agua drene y que entre el aire
>0,1 a 0,3	Enraizamiento	Permite que las raíces de las plantas penetren libremente
0,5-3,5	Canal	Permite que el agua drene y que entre el aire
2-50	Nidos y canales	Permite que el agua drene y que entre el aire

Fuente: FAO/ ONU, 2005.

Tabla 3.5 - Clasificación de espacios porosos

Espacios porosos		
I	Intersticial	Espacios irregulares e interconectados, referentes a los espacios entre partículas de arena
B	Vesicular	Espacios discontinuos de forma esférica o elipsoidal de origen sedimentar o formado por compresión de aire
V	Cavidades	Espacios irregulares, de origen animal o como resultado de alteración de otros espacios
C	Canales	Espacios alargados de origen animal o vegetal, de forma tubular y continua, y de grande variación de diámetro
P	Planos	Espacios extra-pedales, relacionados con superficies de acomodamiento de los agregados (peds) o patrones de agrietamientos.

Fuente: FAO/ ONU, 2009

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

3.4.7 Tratamientos de imágenes

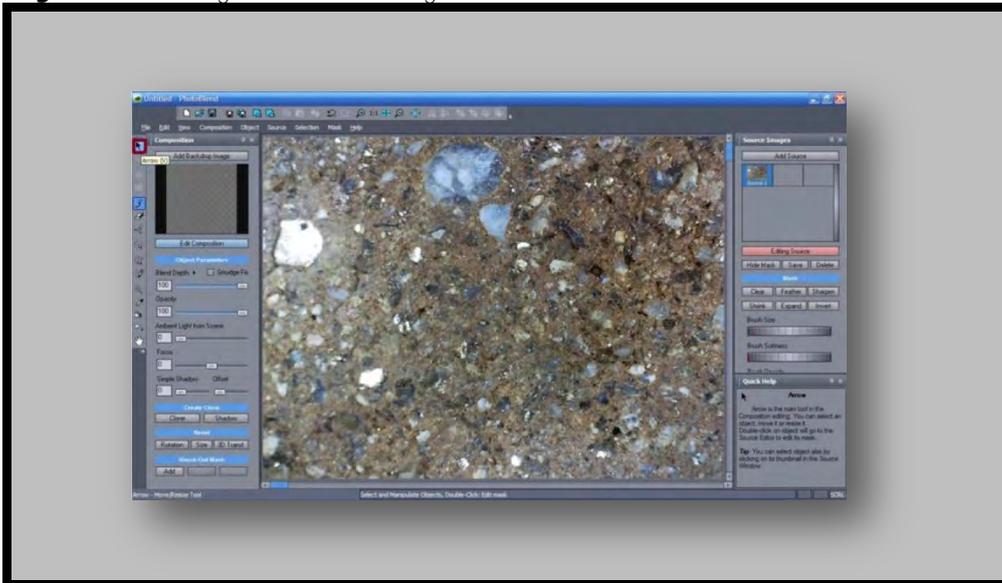
3.4.7.1 Photoblend

Con la ayuda de este programa se han caracterizado los conglomerados con granos de mayor tamaño, la porosidad y las estructuras adicionales existentes.

Los procedimientos son los siguientes (Figuras 3.13 – 3.22):

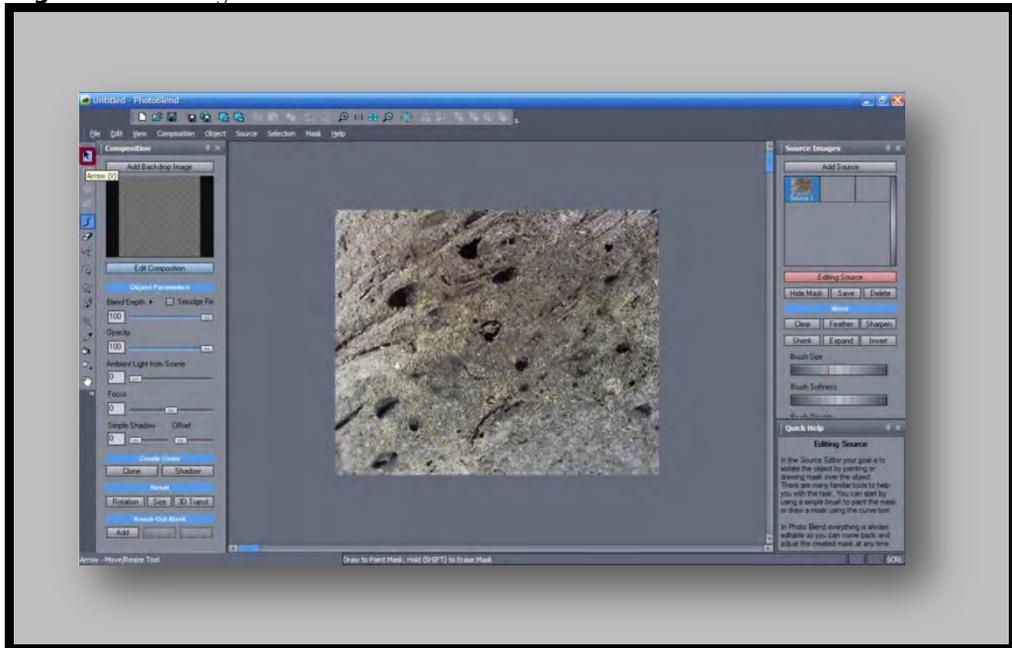
1º - Insertar la imagen en el programa a través del arrastre de la misma desde su carpeta de origen.

Figura 3.13 - Imagen insertada- Conglomerados



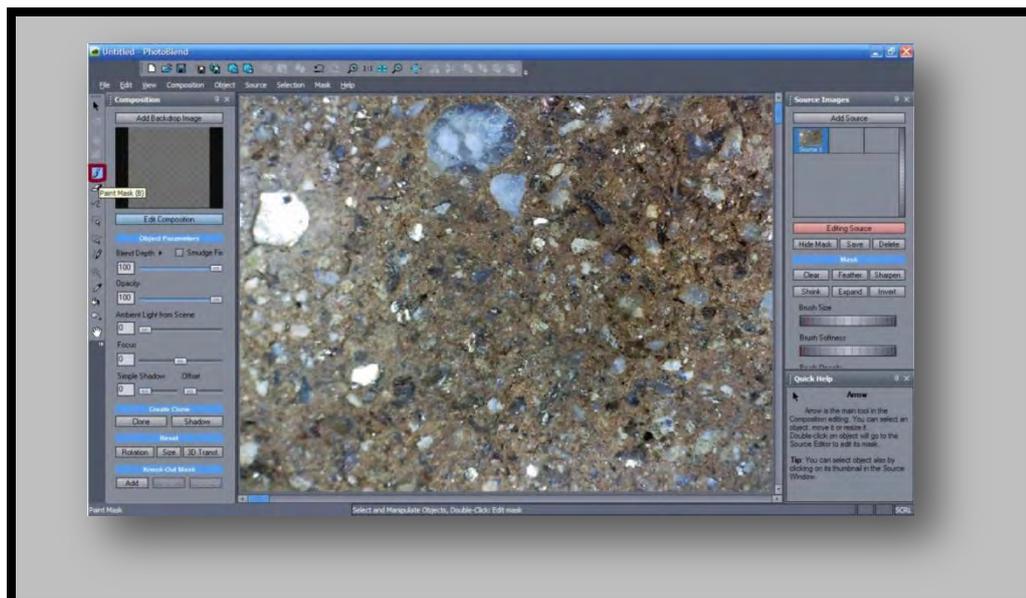
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 3.14 - Imagen insertada – Poros



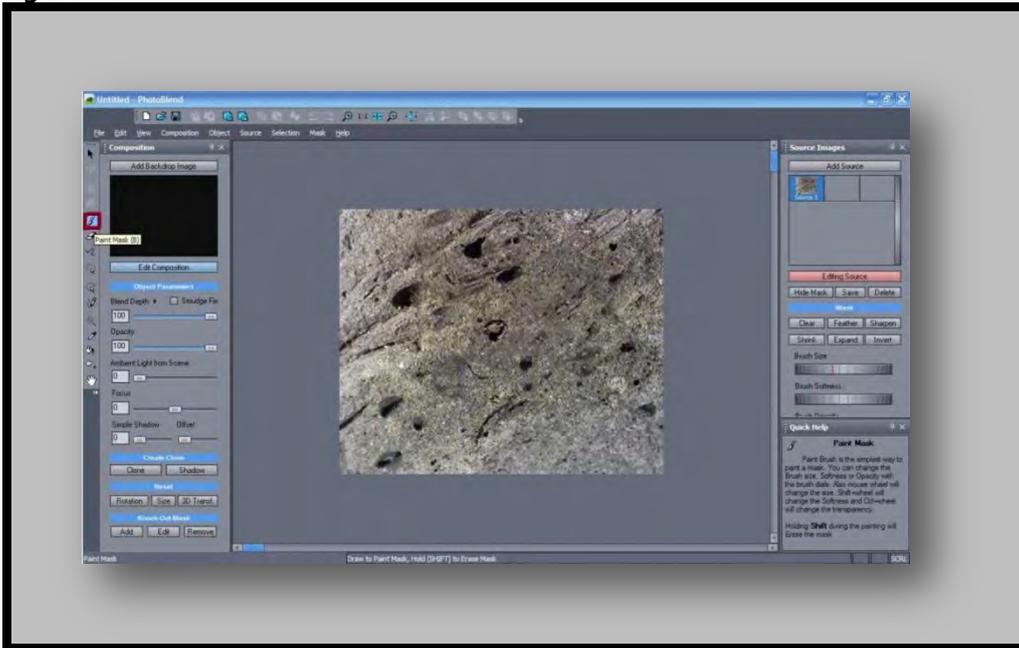
2º - Seleccionar la herramienta *Paint Mask*.

Figura 3.15 – Selección de herramienta - Conglomerado



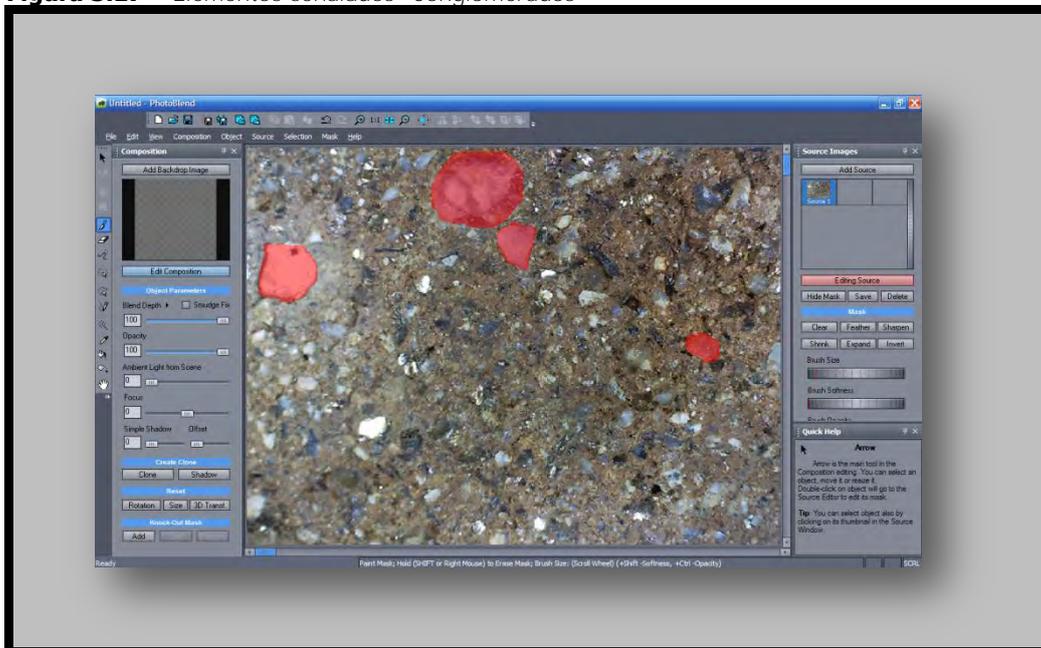
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 3.16 – Selección de herramienta - Poros



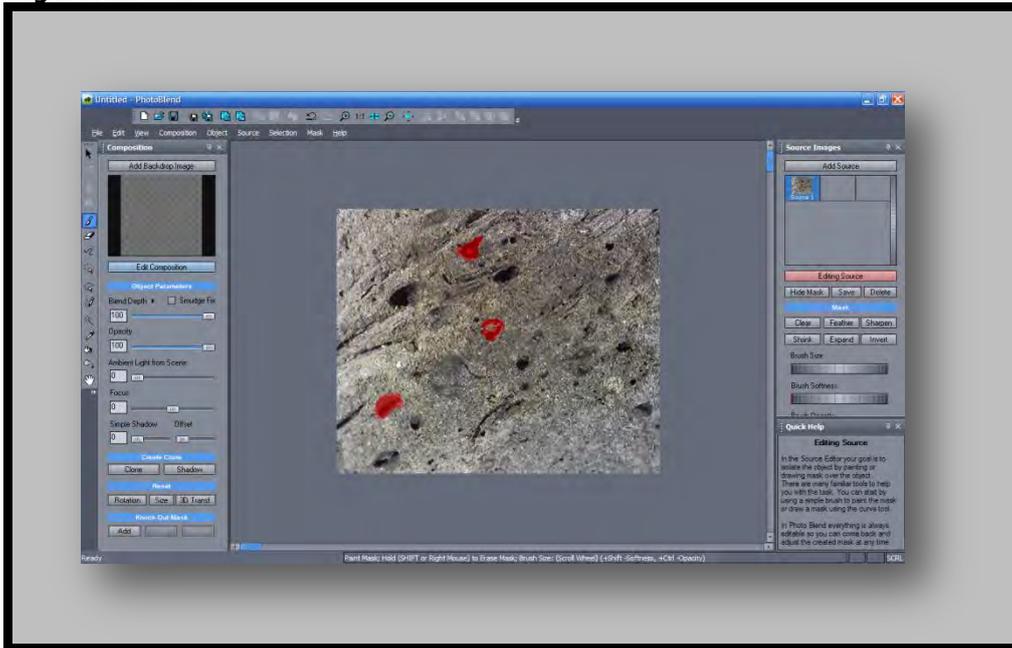
3º - Destacar los elementos que serán estudiados.

Figura 3.17 – Elementos señalados- Conglomerados



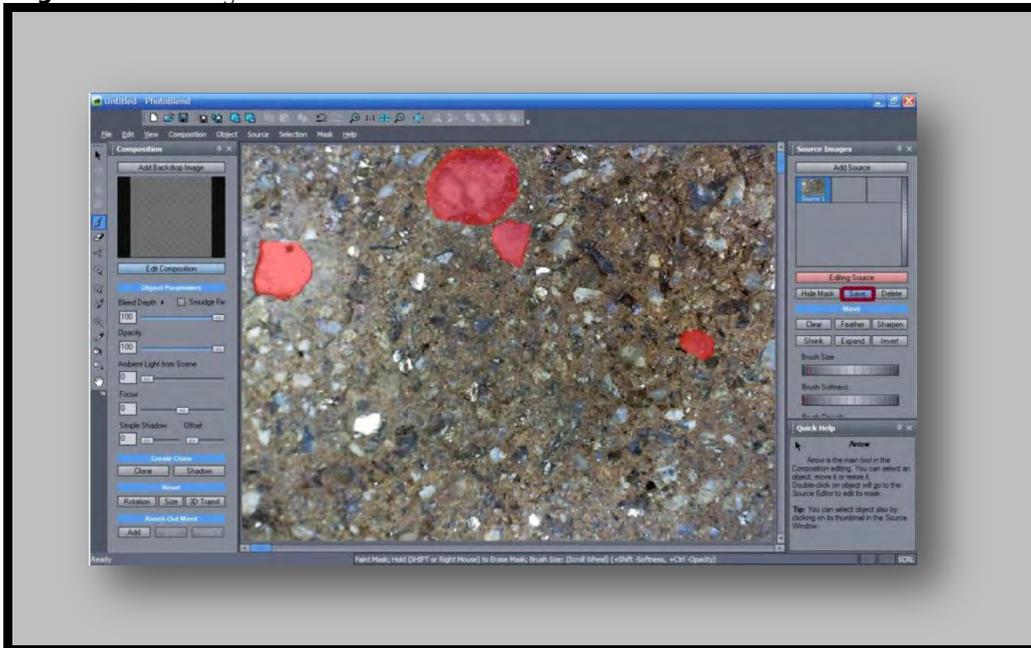
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 3.18 – Elementos señalados - Poros



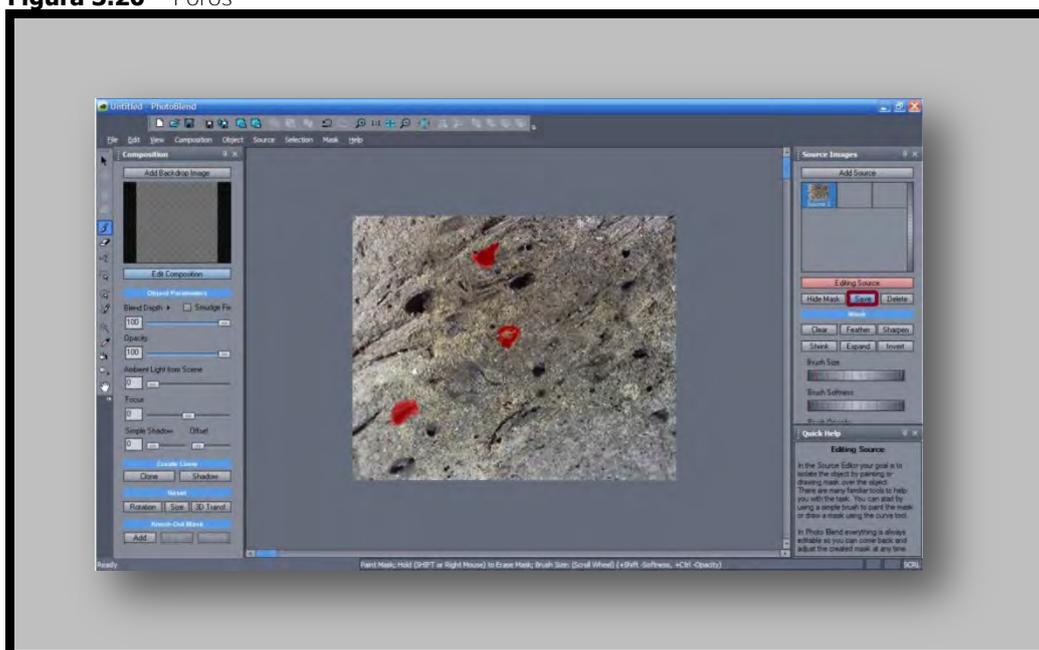
4º - Recortar y guardar la imagen usando la herramienta *Save*

Figura 3.19 – Conglomerados



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 3.20 – Poros



5° - Generar una imagen en formato *PNG*.

Figura 3.21 – Imagen generada - Conglomerado

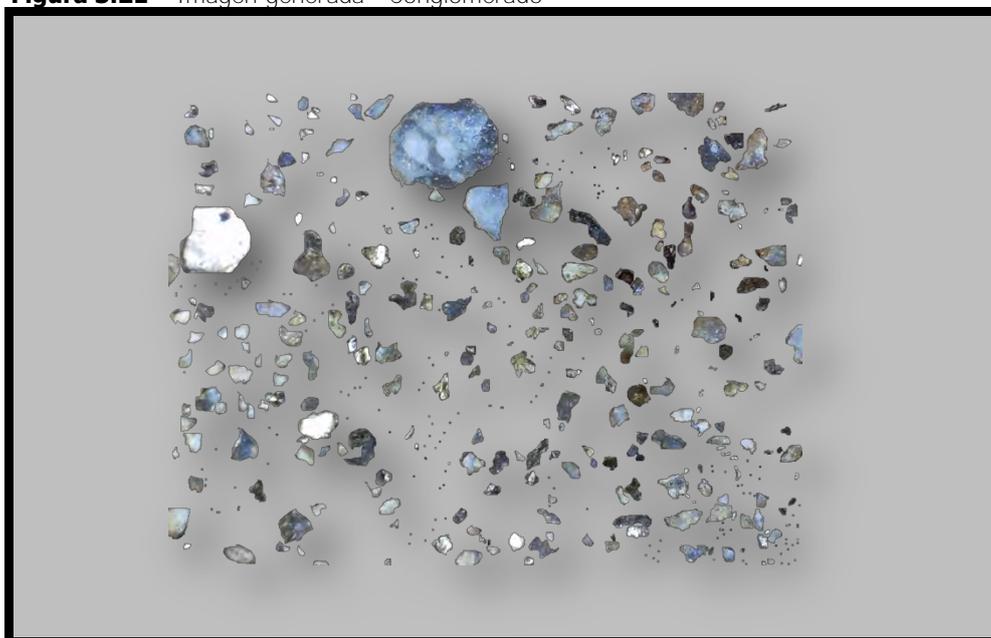


Figura 3.22 – Imagen generada - Poros



3.4.7.2 ImageJ

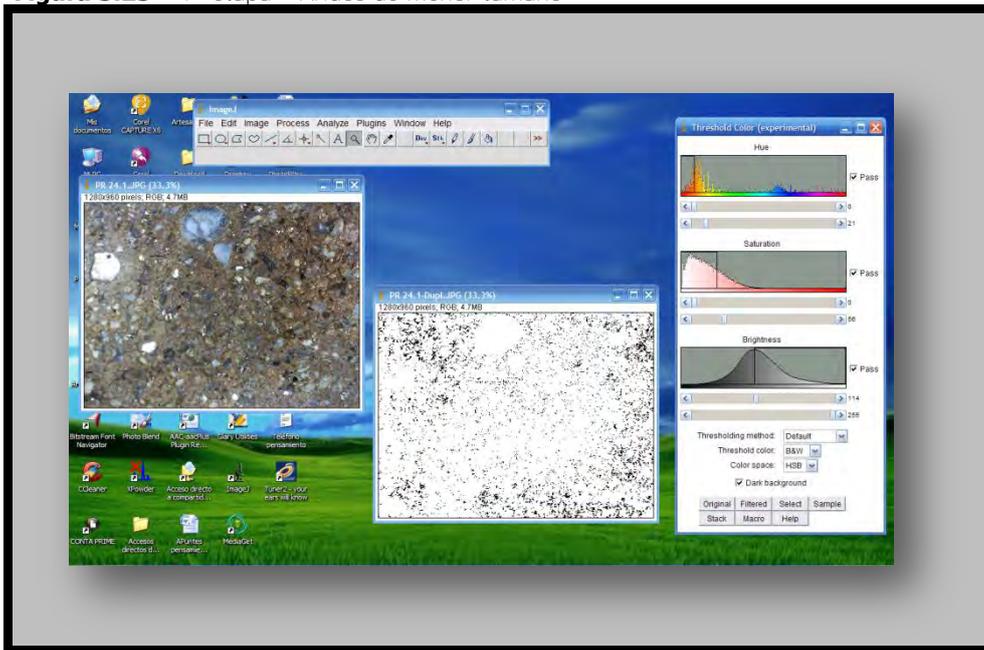
Se han seguido dos etapas: en la primera se utiliza la imagen inicial para identificar los áridos con granos de pequeño tamaño y, en una posterior, y usando las imágenes obtenidas con el programa Photblend, se han obtenido los tamaños de los constituyentes de conglomerados y de los poros presentes.

Los procedimientos son los siguientes (Figuras 3.23 – 3.26):

1º - Abrir imagen (*File -> Open*), duplicar (*Image -> Duplicate*) y segmentar manualmente usando colores (*Image-> Adjust -> Color Threshold*). En esa fase se genera una imagen donde se identifican los áridos menores (por debajo de 0.2 mm de diámetro).

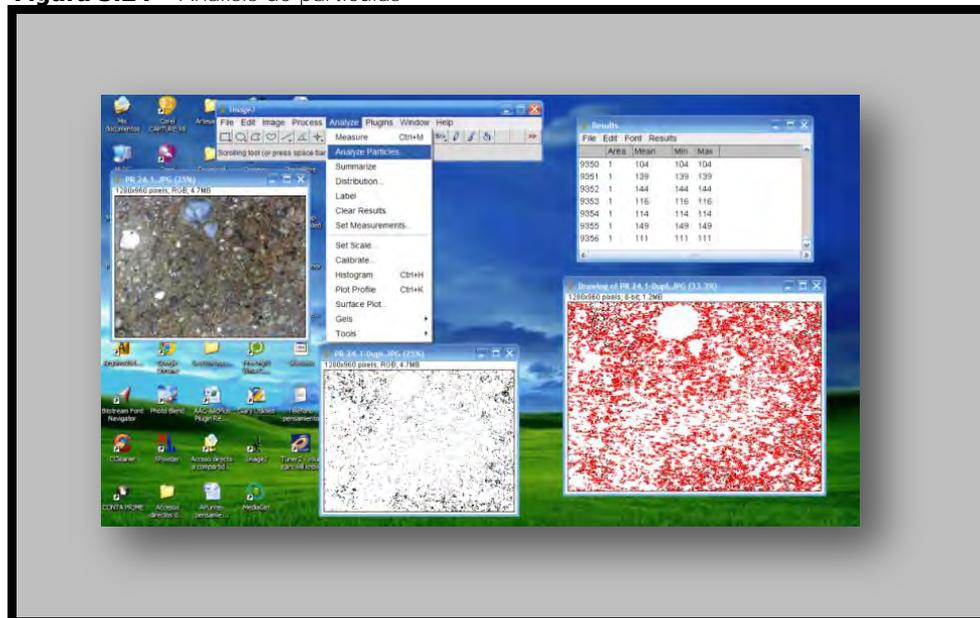
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 3.23 – 1ª etapa – Áridos de menor tamaño



2º - Con la imagen de los áridos menores se consigue determinar en número aproximado de ellos utilizando (*Analyse -> Analyse de Particles*).

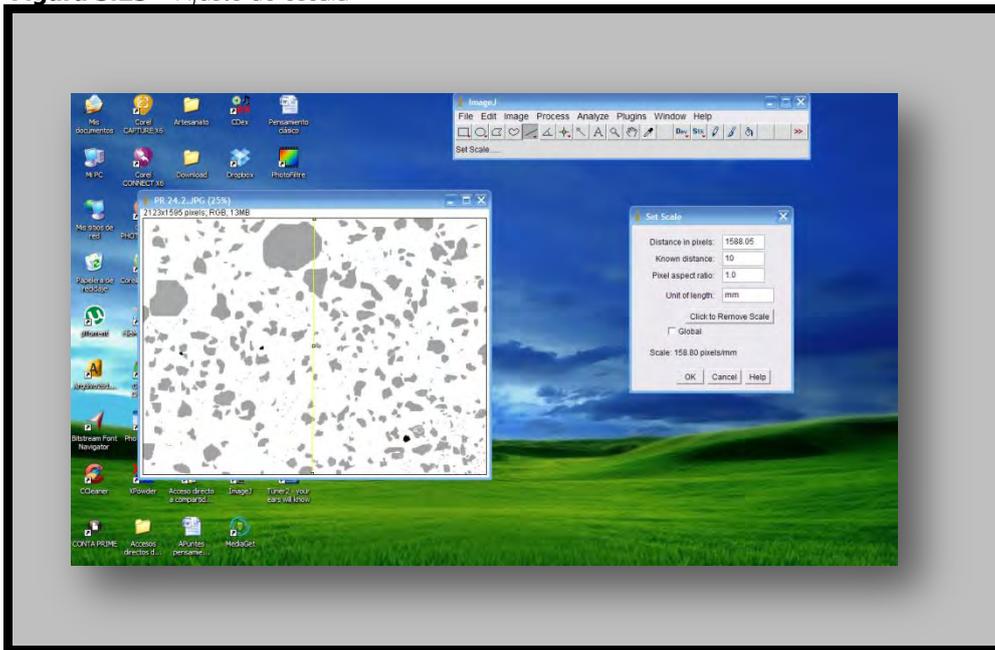
Figura 3.24 – Análisis de partículas



3º - Abrir la imagen creada por Photoblend (*File -> Open*) y ajustar la escala con la herramienta *Straight*, siguiendo el tamaño conocido. Aquí en esa memoria la medida de la toma de imagen es de 10mm. Después use *Analyse -> Set Scale*.

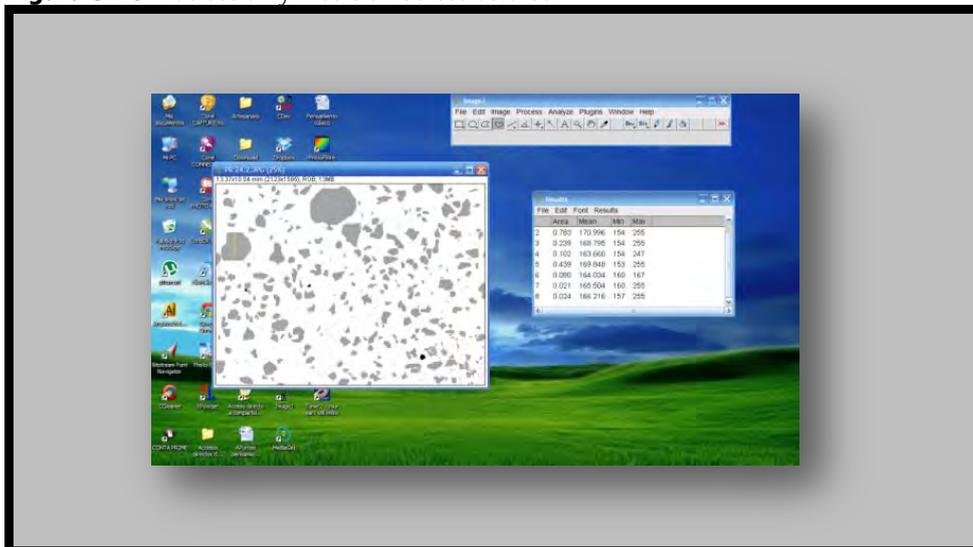
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 3.25 – Ajuste de escala



4° - Seleccionar el área utilizando la herramienta *Freehand* y después medir con *Analyse -> Measure*. Se crea una tabla de resultados con las medidas.

Figura 3.26 – Selección y medición de estructuras



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

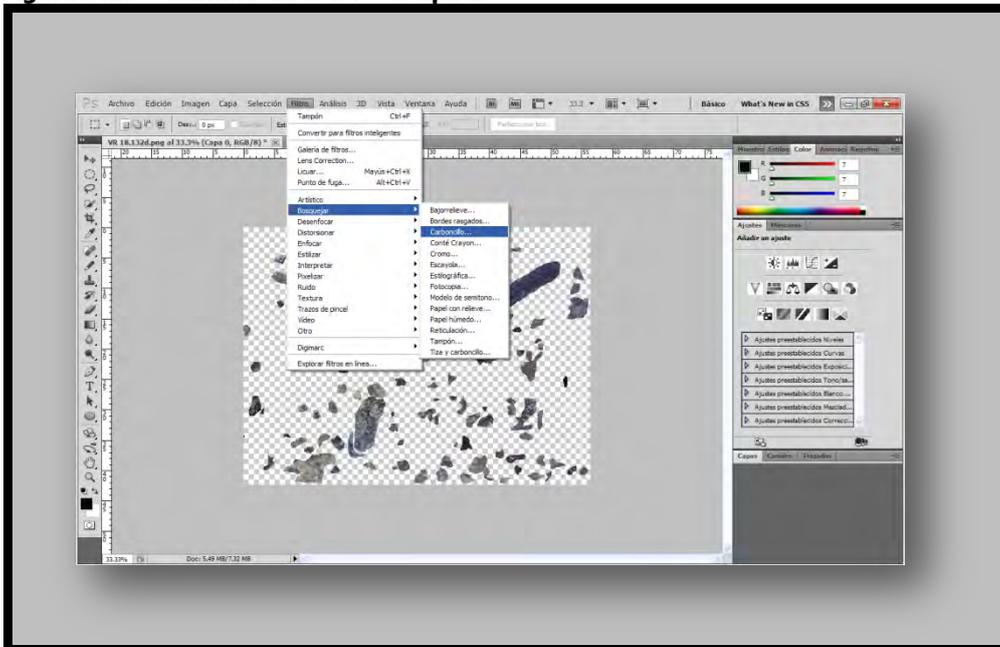
3.4.7.3 Photoshop Cs5

Este programa ha ayudado en la asignación de colores para diferentes elementos discriminados en distintas imágenes.

Los procedimientos son los siguientes (3.27 – 3.30):

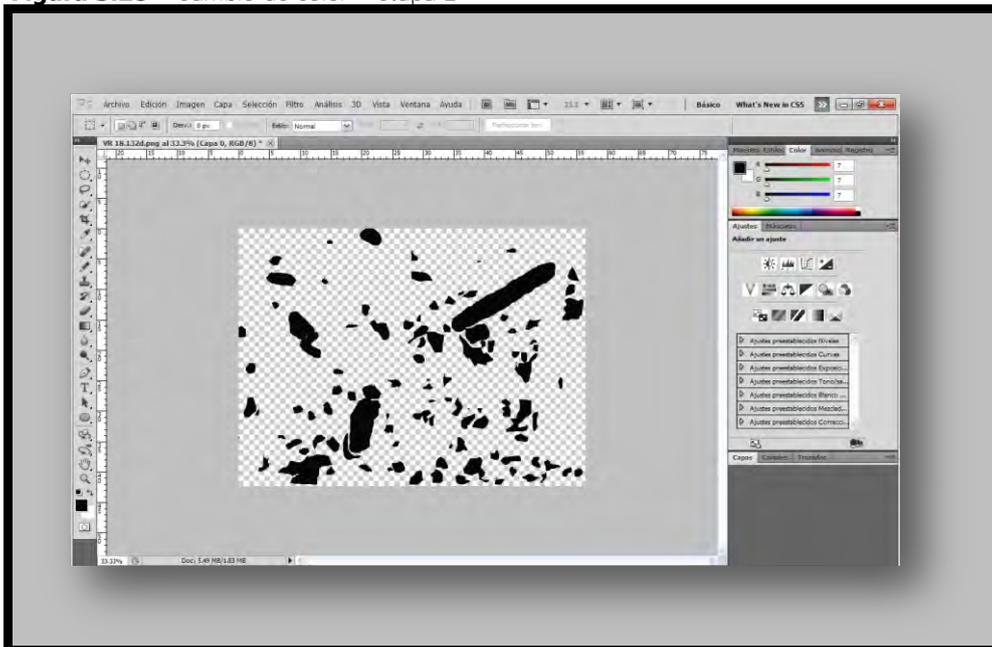
1º - Abrir las imágenes terminadas de los programas anteriores y designar el cambio de color apropiado para destacar cada elementos, utilizando las herramientas *Filtro* -> *Bosquejar* -> *Carboncillo* -> *Tampón*.

Figura 3.27 – Cambio de color – etapa 1



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 3.28 – Cambio de color – etapa 2



2º - Abrir un documento nuevo (*Archivo -> Nuevo*). Después sobreponer las imágenes arrastrando de las carpetas correspondientes. Las imágenes están en PGN.

Figura 3.29 – Superposición de imágenes – etapa 1

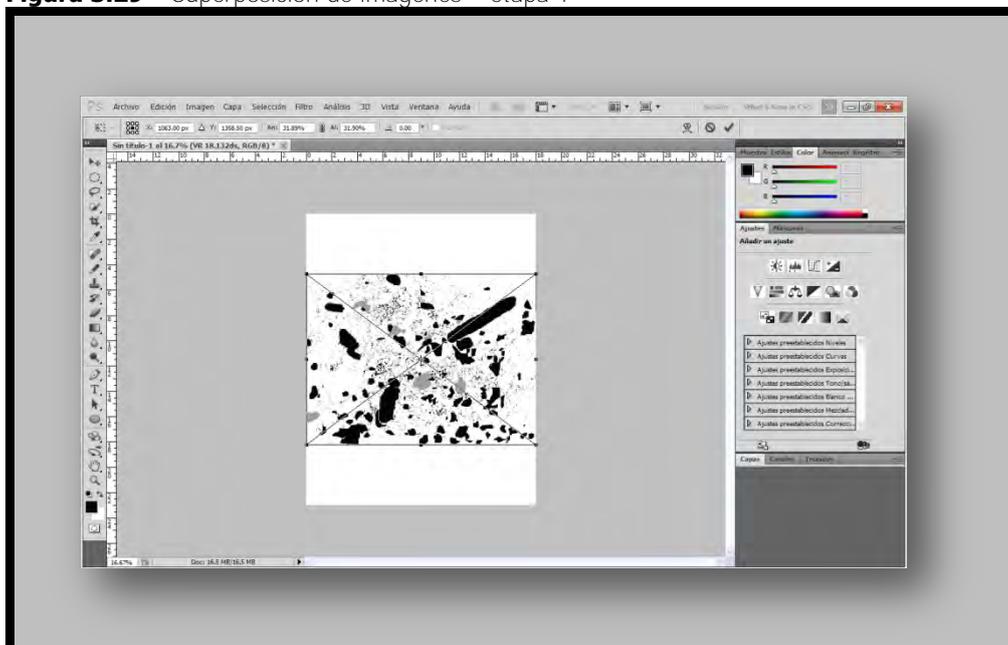
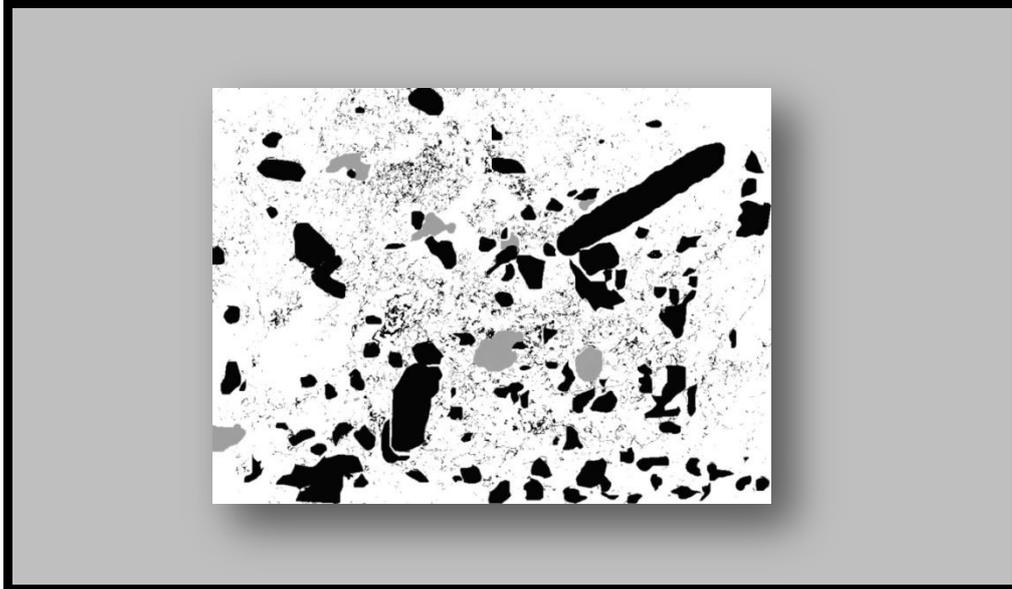


Figura 3.30 – Superposición de imágenes – etapa 2



3.4.8 Técnicas instrumentales de análisis

3.4.8.1 Difracción de rayos X

La difracción de rayos X es una técnica analítica ampliamente empleada en diversas áreas de conocimiento, y una de las más importantes herramientas de análisis de estructuras de materiales utilizada por diversos grupos de investigación (GOMES DE AMORIM, 2007).

Es la técnica más indicada para la identificación de las fases minerales presentes en nuestras muestras, pues es simple y rápida, fiable, posibilita el análisis de materiales compuestos por mezclas de distintos minerales, y ofrece información sobre la cantidad de cada uno de ellos (SCAPIN, 2003).

3.4.8.1.1 Preparación y tratamiento de las muestras

Se ha realizado una primera molienda mecánica en mortero metálico para obtener granos de tamaño inferior a 5 mm, y una ulterior en pulverizador automático FRITSCH, modelo Mini-Mill Pulverisette 23 (50 vibraciones / segundo, 60 segundos), con objeto de obtener un tamaño de partícula inferior a 53 μm (140 ASTM).

Análisis mineralógico cualitativo

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Las muestras se han analizado utilizando un instrumento comercial de Difracción de Rayos X (X´PERT PRO de PANALYTICAL), equipado con un tubo de rayos X de ánodo de Cu (45 kV, 40 mA); se utiliza el portamuestras giratorio para mejorar la estadística de la orientación, con un tiempo de rotación de las muestras de 4 seg, un filtro de Ni y un detector del tipo RTMS (X´Celerator) de tipo lineal. El rango de barrido normal es de 4.000 a 69,9928 ($^{\circ}$), el tamaño de paso (Step size) es de 0,0084 ($^{\circ}$), el tipo de barrido es con un tiempo de conteo de 10,150 segundos, obteniéndose 7898 puntos de información en total y tardando aproximadamente 11 minutos por muestra (Figura 3.31). La interpretación se realiza utilizando el propio software del equipo (X´Pert High Score).

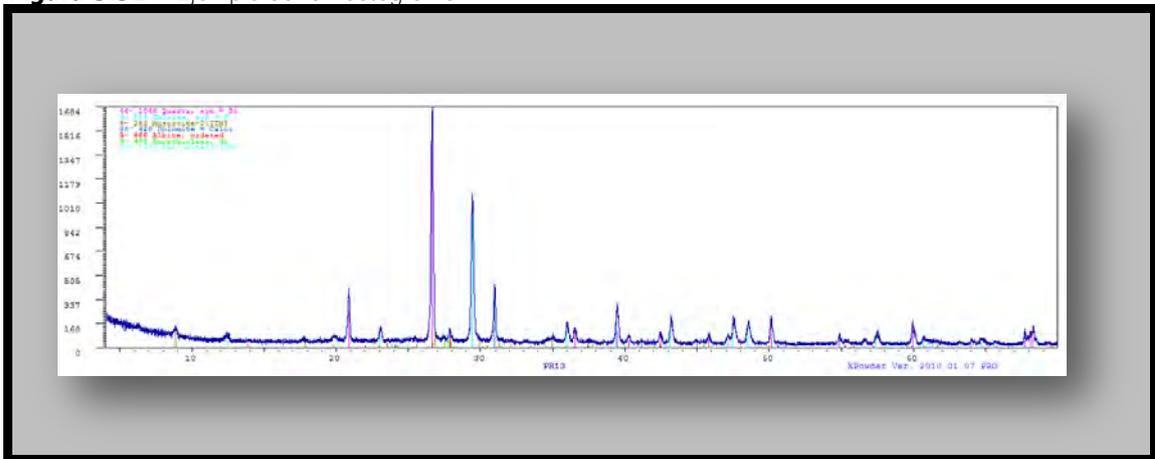
Figura 3.31- Secuencia de preparación y análisis de muestras para DRX



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

El registro y tratamiento de los difractogramas se ha efectuado con el software XPowder³¹ (versión 2010) tanto para su análisis cualitativo como cuantitativo. El programa facilita enormemente la interpretación cualitativa y cuantitativa de los distintos difractogramas obtenidos, utilizando para ello la base de datos PDF2.DAT del International Centre for Diffraction Data (ICDD), así como la comparación rápida entre distintos difractogramas (Figura 3.32).

Figura 3.32 – Ejemplo de difractograma



Para la cuantificación mineral se empleó el módulo incluido a tal efecto en XPowder, siguiendo la metodología descrita en MARTÍN-RAMOS et al. (2006, 2012).

3.4.8.2 Granulometría

El análisis granulométrico también llamado clasificación por textura, forma parte de una serie de ensayos que se practica sobre una muestra de suelo para su identificación y poder así predecir aproximadamente su comportamiento ante diversas acciones (RUCKS et al, 2004). Tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño (SANZ LLANO, 1975).

³¹ Programa realizado por el Dr. José Daniel Martín Ramos, Departamento de Mineralogía y Petrología de la Universidad de Granada. (<http://www.xpowder.com/>)

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

3.4.8.2.1 Granulometría por tamizado

El procedimiento consiste en cuantificar la cantidad de suelo que pasa a través de un tamiz de una malla dada, pero que es retenido en el siguiente tamiz cuya malla tiene una abertura ligeramente menor que el anterior, relacionando esta cantidad retenida con el total de la muestra que pasa a través de los tamices (Figura 3.33).

Descripción del equipo utilizado de acuerdo con el UNE-EN 933-1 y el UNE-EN 933-2³²:

- Torre de tamices de ensayo, n° de malla (mm) 8, 4, 2, 1, 500, 250, 125, 63.
- Fondo y tapa para tamices.
- Balanza de precisión
- Mortero de ágata.
- Tamizadora mecánica de control analógico
- Bandejas y cepillos.

3.4.8.2.2 Preparación de la muestra y ejecución del ensayo:

1. Registro de peso de la muestra.
2. Triturar la muestra en mortero de ágata.
3. El material se coloca en la parte superior de la torre de tamices y se tapa.
4. La torre de tamices va para la tamizadora mecánica con tiempo de 45 segundos.
5. Se pesa y registra el material retenido por cada malla, incluido en contenido en el fondo de la torre.
6. Se confecciona la curva granulométrica.

La forma en la que se seleccionan los porcentajes de los diferentes constituyentes es a través de la cantidad de material retenido en tamices, el peso de cada material retenido en el tamiz se relaciona como porcentaje total en peso de la muestra en estudio. Los resultados son relacionados en una tabla y una gráfica en donde las abscisas corresponden al tamaño de los tamices y las ordenadas al porcentaje en peso del

³²Todo el proceso de granulometría fue basado en normativas apropiadas. No obstante el método fue adaptado a los tipos de muestras, que por ser tratar de material histórico muchas veces no cumple los requisitos de cantidad y peso, sea por cuestión de mantener la integridad del material o la por la dificultad de obtención.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

material que pasa, esta curva es la que recibe el nombre de curva granulométrica (Figura 3.34).

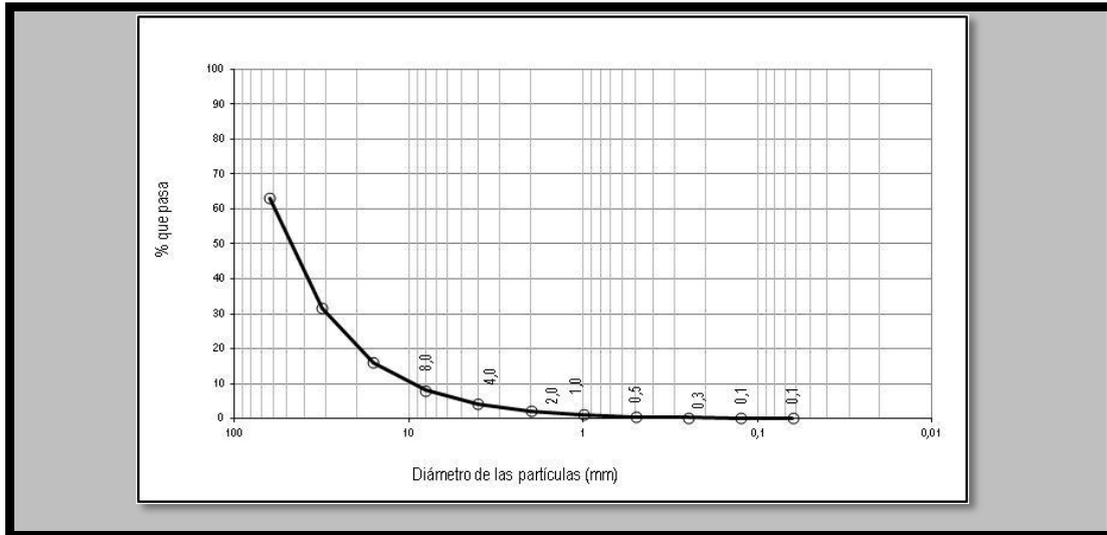
Figura 3.33 - Granulometría



Figura 3.34- Tabla de registro granulométrico

		Universidad de Granada					
		Dpto. de Química Analítica					
		Dpto. de Pintura					
SOLICITANTE ENSAYOS	Investigador I						
MODALIDAD DE MUESTREO	Granulometría						
MATERIAL	Adobe	DATOS COMPLEMENTARIOS DE LA MUESTRA				Fragments de adobes	
						Yacimiento de Puig Roig	
ENSAYOS QUE CONTEMPLAN ESTE ACTA	CÓDIGO DEL ENSAYO	TÍTULO DE LA NORMA O PROCEDIMIENTO DE ENSAYO					NÚMERO Y AÑO DE EDICIÓN
	GTL-02	Preparación de muestras para ensayos de suelo					UNE 933-1/ 933-2
	GTL-04	Análisis granulométrico por tamizado					UNE 933-1/ 933-2
	GTL-05	Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande					UNE 103103:94
	GTL-06	Determinación del límite plástico de un suelo Método de ensayo Normalizado de clasificación de suelos					UNE 103104:93
	GTL-01	Método de ensayo Normalizado de clasificación de suelos					ASTM-D 4318

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra



3.4.8.3 Límites de Atterberg

A través de la curva granulométrica se conoce el tamaño de las partículas de un suelo, y en el ensayo de límites de Atterberg se determina el comportamiento de los granos finos en interacción con el agua. Los límites de Atterberg son límite líquido LL, límite plástico LP e índice plástico IP. La determinación de tales límites se ha realizado en las muestras consideradas representativas, siguiendo las especificaciones ASTM (American Society for Testing of Materials - Método ASTM D-4318) y las normas españolas UNE 103-103-94 y UNE 103-104-93. Después de esos procedimientos se establece el índice de plasticidad del suelo que es función directa de los límites líquido y plástico.

3.4.8.3.1 Límite líquido (LL)

Es el punto de paso del estado líquido al plástico, y se mide por cantidad de agua que contiene la masa en el momento en que ésta pierde la fluidez de un líquido viscoso (RUBINOS GONZÁLEZ, 2008). **Se mide con la "cuchara" de Casagrande**, en la cual se llena con el suelo (con finos) y a través de una manivela o motor se van dando golpes sucesivos **elevando y dejando caer la "cuchara" sobre un pedestal rígido**.

Se llena el recipiente con una pasta elaborada de suelo húmedo y se hace un surco de un centímetro de espesor, se procede a golpearlo contando el número de golpes necesarios para que este surco de un centímetro se cierre, posteriormente se añade más agua para repetir el proceso dando un número menor de golpes, el límite líquido se definió como la cantidad de agua para que se unan dos mitades después de 25 golpes (Figura

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

3.35). Los resultados se llevan a un gráfico que tenga en abscisas el número de golpes, y en ordenadas la humedad, ambos en escala logarítmica.

Figura 3.35 - Límite líquido

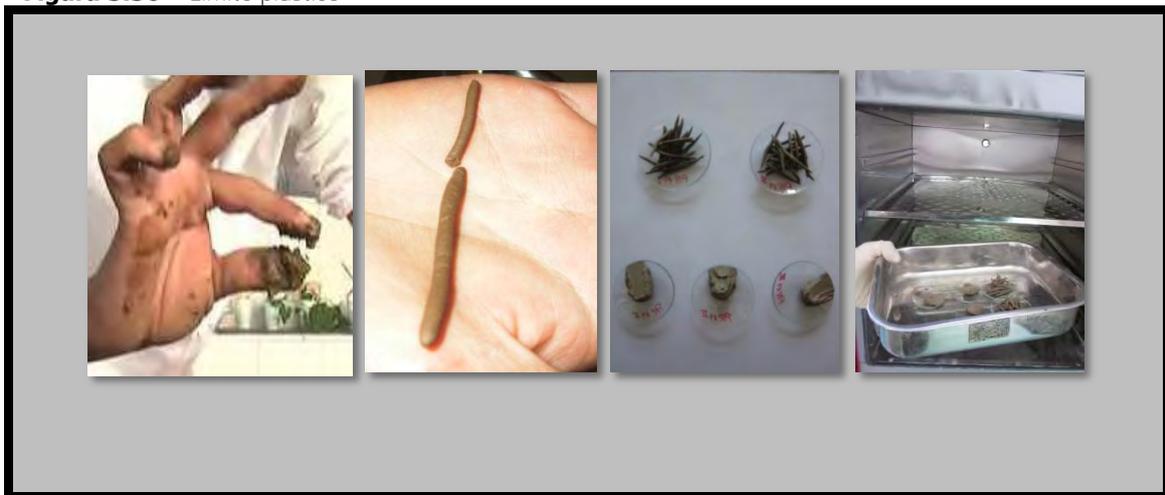


Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

3.4.8.3.2 Límite plástico (LP)

Es el punto en el que se pasa del estado plástico al semisólido y se mide por la cantidad de agua que contiene la masa en el momento en que deja de ser moldeable (RUBINOS GONZÁLEZ, 2008). Con la misma mezcla que en el ensayo del límite líquido, se moldean con la mano pequeños rollos de 3mm de diámetro sobre una superficie absorbente. Este procedimiento debe repetirse hasta lograr que los rollos comiencen a desmoronarse al tener los 3mm. Una vez que se tenga la muestra en condiciones de humedad deseadas, se toma una cantidad de aproximadamente 5g y se pesa inmediatamente, luego se deja secar en estufa a 100° grados durante 24 horas (Figura 3.36). Se vuelve a pesar y se toma nota de la diferencia. Este procedimiento deberá repetirse tres veces y el valor promedio de los tres será considerado como límite plástico.

Figura 3.36 – Límite plástico



3.4.8.3.3 Índice plástico (IP)

Terminados los ensayos de límite líquido (LL) y plástico (LP) se calcula el índice de plasticidad (IP) que es la diferencia entre ellos.

$$IP = LL - LP$$

Define el estado plástico de un suelo y representa el porcentaje de humedad que deben tener las arcillas para conservarse en estado plástico.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Estos límites proporcionan normas que permiten comparar unas arcillas con otras, ya que una arcilla es tanto más plástica cuanto más separados están sus límites líquido y plástico, es decir, cuanto más alto sea su índice de plasticidad. Pero esta afirmación debe hacerse con reservas, ya que la clasificación y comparación de materiales plásticos con exactitud, ya sean arcillas, lodos, tierras de moldeo, pastas acabadas, y otros, sólo puede establecerse comparando los valores de los límites líquido y plástico por separado, muestra por muestra.

3.4.8.3.4 Clasificación a través de la Carta de Casagrande

Los parámetros anteriores se emplean para identificar los suelos arcillosos y limosos, mediante el gráfico denominado Carta de Plasticidad de Casagrande (SAGASTELA MILLÁN, 2010). Es un diagrama (LL-LP) que tiene el área del gráfico dividida en cuatro zonas, separadas por líneas (Figura 3.37):

- a) La línea LL=50%, que separa los suelos de alta plasticidad (símbolo H) de los de baja plasticidad (símbolo L).
- b) La línea A, de ecuación $IP=0,73(LL-20)$, que separa las arcillas (símbolo C), que caen por encima de ella, de los limos (símbolo M) y los suelos orgánicos (símbolo O), que caen por debajo.

Cuando se ensayan muestras de un determinado suelo, suele haber diferencias entre ellas, al variar el contenido de finos; los puntos correspondientes suelen quedar agrupados en zonas alargadas, paralelas a la línea A.

Con las informaciones obtenidas en los ensayos de granulometría y de límites de Atterberg se ha realizado la clasificación de las muestras a través del Sistema de Clasificación Unificada de los Suelos. Este sistema ubica al suelo dentro de algunos de los 15 grupos que lo componen y nosotros lo usamos para clasificar las muestras investigadas. Cada una de las letras son la iniciales en inglés de los diferentes componentes del suelo (Tabla 3.6).

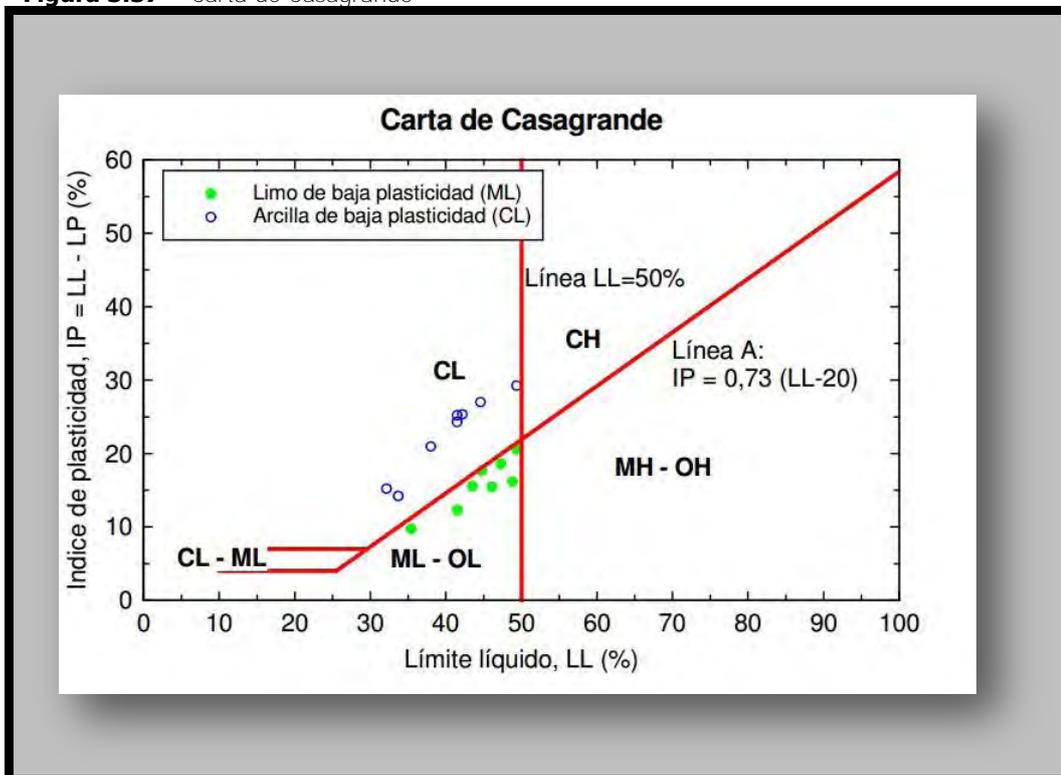
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 3.6 – Clasificación de suelos

Clasificación de Suelos				
GW	SW	ML	MH	Pt
GP	SP	CL	CH	-
GM	SM	OL	OH	-
GC	SC	-	-	-

G - grava; S - arena; M - limo; C - arcilla; W - bien graduado; P - mal graduado;
 L - bajo límite o plasticidad; H - alto límite líquido o plasticidad; O - orgánico; Pt - turba o suelo altamente orgánico.

Figura 3.37 – Carta de Casagrande



Fuente: del PINO y PIUSSEAUT, 2013.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

3.4.8.4 Florescencia de rayos X

La fluorescencia de rayos X (XRF) es una técnica analítica multielemental que utiliza la emisión secundaria o fluorescente de radiación X generada al excitar una muestra con una fuente de radiación X. La energía absorbida por los átomos de la muestra genera la producción de rayos X secundarios emitidos por la muestra. Estos rayos X secundarios tienen una intensidad proporcional a la concentración de cada elemento de la muestra, por ello, al cuantificar esta radiación se determina la cantidad de cada elemento presente en la muestra (MARTÍNEZ, D.; GONZÁLEZ, A. B. y NOVOA, O. G. 2006).

Consiste en irradiar la muestra con radiación X, provocando el movimiento de electrones del nivel interno de los átomos, y como consecuencia de esto, electrones de los niveles de energía mayores pasan a ocupar niveles de energía menor. Cada transición electrónica constituye una pérdida de energía para el electrón, esta energía es emitida en la forma de un fotón de rayo X, de energía característica y bien definida para cada elemento (NASCIMENTO FILHO, 1999).

Es una técnica empleada, normalmente, cuando se quiere conocer con rapidez la composición elemental exacta de una sustancia, pues permite determinar todos los elementos del sistema periódico, desde el flúor hasta el uranio, en muestras sólidas, en polvos y en líquidos. Como método cualitativo y cuantitativo (CALZA, 2007) se aplica a diferentes muestras sólidas o líquidas, orgánicas o inorgánicas, tales como minerales, fragmentos de cerámica, arcillas, sedimentos, huesos, textiles, líquidos, etc.

3.4.8.4.1 Preparación y tratamiento de las muestras

Las muestras pasaron por el pulverizador automático FRITSCH, modelo Mini-Mill Pulverisette 23 (50 vibraciones / segundo, 60 segundos) y a continuación se han preparado dos series de material para su análisis por fluorescencia de rayos X.

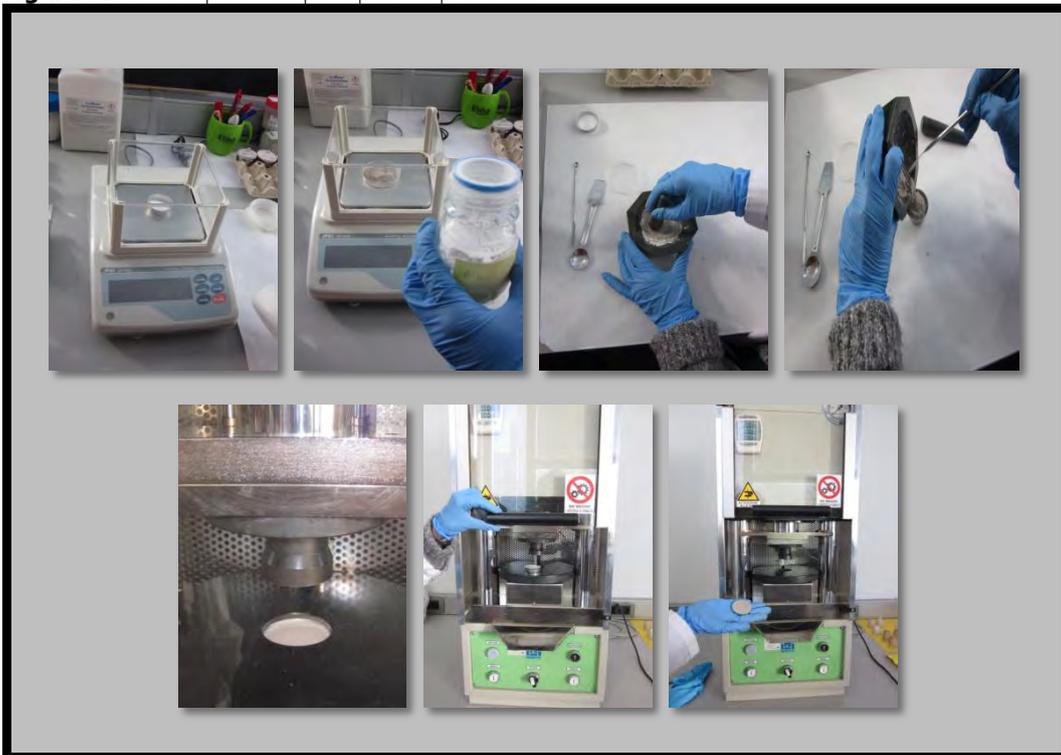
1ª serie: pastilla prensada (elementos mayoritarios, minoritarios y trazas)

Se rotula una cazoleta bien limpia con el nombre de la muestra; se coloca una base de ácido bórico (4gr.); se homogeniza en mortero de ágata 5 gramos de la muestra y 0,5 gramos de cera C de Hoestch micropolvo Merk que actúa como aglutinante (la cera es siempre 10% de la muestra); se coloca esa mezcla sobre la base de ácido bórico con mucho cuidado, dándole unos pequeños golpes a la vez que se gira para que se quede un poco más

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

compacta; se prensa en la Prensa Hidraulica (marca NANNETTI y modelo MIGNON S) durante 30 segundos, para obtener una pastilla prensada de 40mm de diámetro (Figura 3.38).

Figura 3.38 – Preparación para pastilla prensada



2ª serie: perlas (elementos trazas)

Se coloca un crisol de platino en la balanza y se tara; se pesa 8,1 gramos de tetraborato de di-litio y 0,9 gramos de muestra molida; se mezcla bien con la barrita de cristal; se añade una espátula pequeña de nitrato amónico y después 100µl de ioduro de litio en disolución (100gr. En 100ml de agua ultra pura); se coloca el crisol y el molde en la perladora (marca Fluxana-HD Elektronik, modelo Vulcan 4M) con cuidado para no estropear las barritas blancas de alumina y se asegura que está todo bien colocado; se pega en la cerámica frente al crisol una etiqueta con el nombre de la muestra; se realiza la fusión en la perladora (Figura 3.39).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 3.39 – Preparación para perla

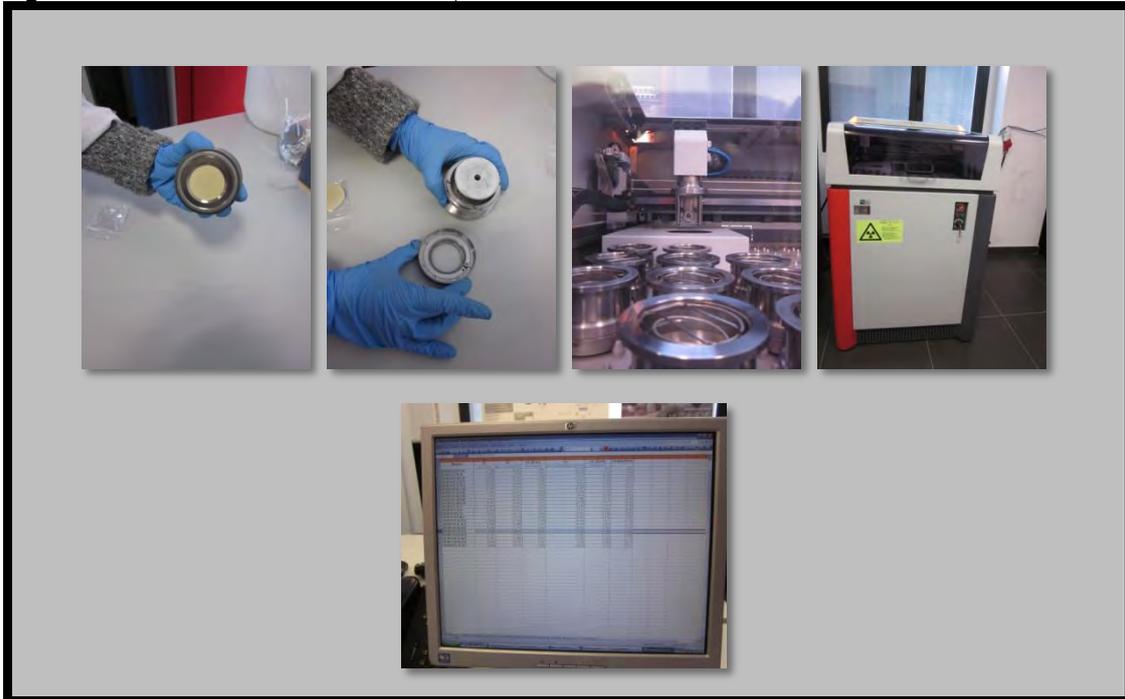


Análisis químico cualitativo y cuantitativo

Las muestras han sido analizadas con el espectrómetro secuencial de fluorescencia de rayos X de dispersión por longitud de onda (WDXRF), S4 Pioneer de BRUKER, con una potencia máxima de 4 kW. El instrumento está provisto de un tubo de rayos X de ánodo de Rh (60 kV, 150 mA); tres cristales analizadores (OVO-55, LiF 200 y PET); un colimador de 0.23° y otro de 0.46; filtros de Pb, Cu, y Al; un contador proporcional de flujo para la detección de los elementos ligeros y un contador de centelleo para los pesados. La Inteligencia Analítica Integrada (IAI) de SPECTRAplus, la solución de software XRF para la calibración, la evaluación y la preparación de informes, permite el arranque fácil de calibraciones, paso por paso, suministrando parámetros de medida optimizados y permite realizar fácilmente las operaciones de rutina. La evaluación sin estándar integrada para todo tipo de muestra como rocas, minerales, metales, hidrocarburos y cualquier tipo de producto industrial ofrece la determinación rápida y fácil de concentraciones de elementos del 100 % hasta el rango ppm sin necesidad de realizar una calibración. La interpretación se realiza utilizando el propio software del equipo (Figura 3.40).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 3.40— Acondicionamiento en el espectrómetro



3.4.8.4.2 Quimiometria

En las últimas décadas ha crecido enormemente el uso de ordenadores para analizar datos químicos. Los motivos para eso fueron los avances continuos en "hardware" y "software" y la presencia, cada vez mayor, de datos complejos y variados producidos por los nuevos instrumentos introducidos en el área de la química. Estos instrumentos novedosos tienen como característica el número considerable de variables aptas para la lectura en una única muestra. Esta cantidad de datos necesita del uso de herramientas nuevas y sofisticadas para tratarlos y extraer informaciones relevantes (FERREIRA et al, 1999).

Por ello surgió la Quimiometria, campo interdisciplinario que viene resolver los problemas de interés de la química, a través de herramientas de la matemática, estadística y computación.

La quimiometria posee varios objetivos tales como el filtrado de señales, que es un pretratamiento aplicado a los datos experimentales para mejorar la calidad de la señal; los métodos de reconocimientos de pautas, que son técnicas multivariadas mediante las que se pueden establecer agrupaciones de muestras en función de su similitud y de los procedimientos de clasificación de nuevas muestras y los métodos de calibración, que también son técnicas multivariadas, sin embargo, es utilizada para la búsqueda de una

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

relación cuantitativa entre la señal analítica y alguna propiedad de la muestra (GUTIÉRREZ, 2010).

Para el proceso quimiométrico hay que se definir como modelo multivariable a la relación matemática que se establece entre las variables analíticas con las propiedades físicas o químicas (presión, tamaño, concentración, etc.) de uno o varios analitos de una muestra. El principal objetivo de ese método es establecer modelos de clasificación o calibración, que sean capaces de predecir las propiedades de las muestras desconocidas y eliminar las fuentes extrañas de variación que no son de interés en el análisis (PORCEL, 2001).

Análisis en componentes principales (PCA, Principal Component Analysis).

El PCA es un método de reducción de variables, que permite disminuir, sin pérdida importante, un gran volumen de información que proporcionan los datos espectroscópicos, creando un nuevo conjunto más pequeño que explica la información original (CHUVIECO, 1996). El análisis de componentes principales consiste en que dadas n observaciones de p variables, se analiza si es posible representar adecuadamente esta información con un número menor de variables construidas como combinaciones lineales de las originales. Por ejemplo, con variables con alta dependencia es frecuente que un pequeño número de nuevas variables (menos del 20% de las originales) expliquen la mayor parte (más del 80% de la variabilidad original). Para el análisis de componentes principales (PCA) se utilizó el software Matlab (Mathwors³³) con el objetivo de estudiar los agrupamientos químicos de las muestras y sus correlaciones, utilizando los datos de los análisis de fluorescencia de rayos X.

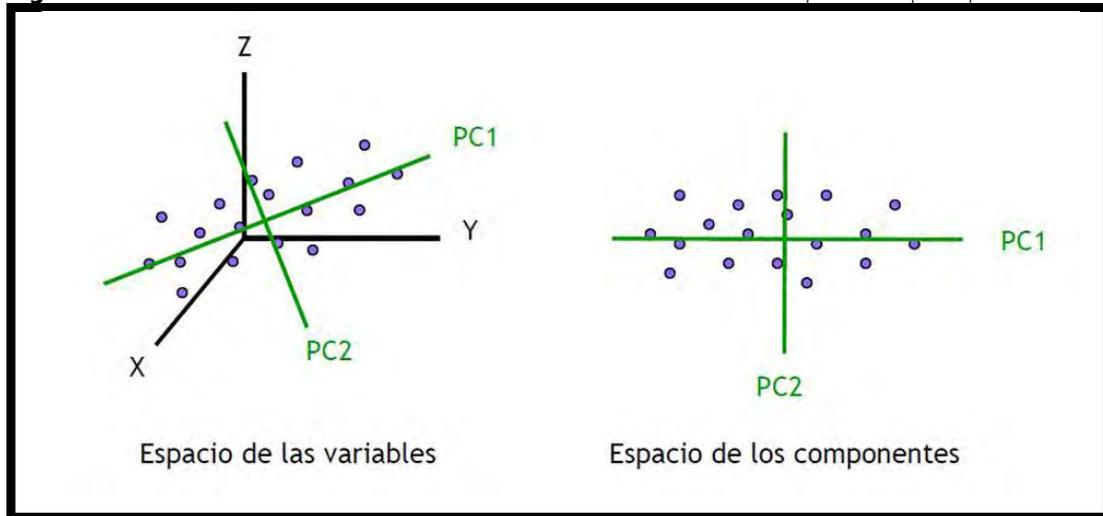
La técnica de componentes principales tiene una doble utilidad (VILLANUEVA et al, 2009):

- 1- Permite representar en un espacio pequeño observaciones de un espacio en general de mayor dimensión.
- 2- Permite transformar las variables originales, en general correlacionadas, en nuevas variables no correlacionadas, facilitando la interpretación de los datos.

En la Figura 3.41 se puede ver como la recta minimiza las distancias entre los puntos. Los ejes originales tienen una lectura más fácil con los nuevos ejes de componentes principales (PC)

³³ Mathwors - Copyright © 2015.(Matlab, 2015)

Figura 3.41 – Reducción desde un sistema de 3 variables a uno de 2 componentes principales



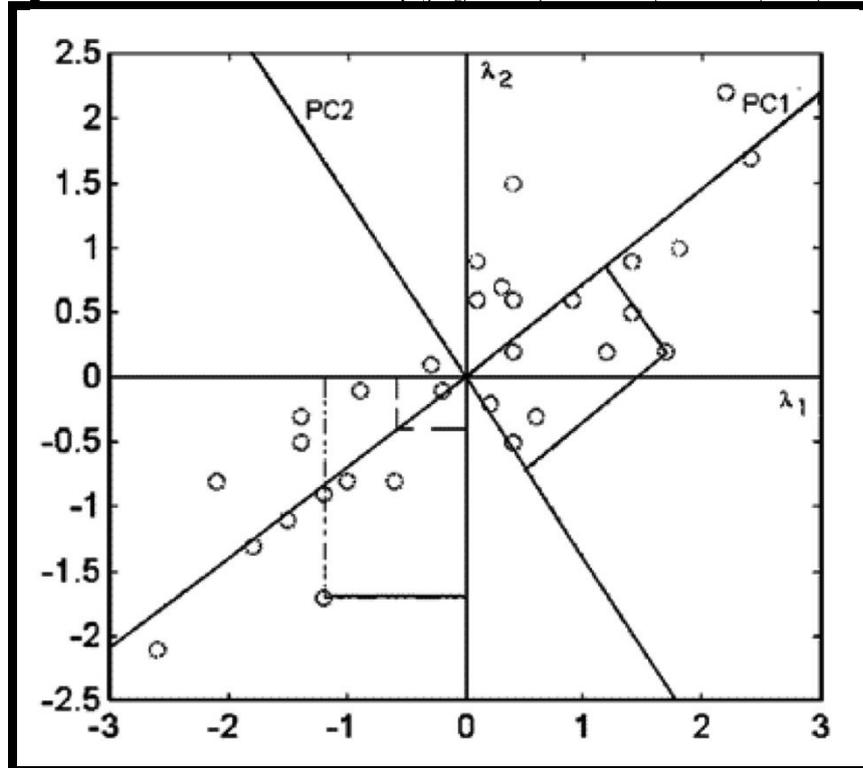
Fuente: GUTIÉRREZ, 2010

La matriz de transformación utilizada para el cálculo de PCA consiste en una matriz donde las columnas son los autovectores de la matriz de covarianza estimada de los datos. La PCA, entonces consiste en un cambio de base. La PCA y la descomposición por autovalor de una matriz son básicamente lo mismo, apenas tienen miradas distintas del problema (NÚÑEZ-CUADRA, 2011; TORTOSA MUÑOZ, 2011).

En un análisis de componentes principales, el agrupamiento de las muestras define la estructura de los datos mediante gráficos de scores e loadings cuyos ejes son componentes principales (PCs) donde los datos son proyectados. Los scores expresan la composición de las PCs en relación a las muestras, mientras que los loadings exponen esa misma composición en relación a las variables. Como las PCs son ortogonales, es posible examinar las relaciones entre muestras y variables a través de los gráficos de los scores y de los loadings. El estudio conjunto de scores y loadings todavía permite estimar la influencia de cada variable en cada muestra (OLIVEIRA, 2006; PANERO et al, 2015).

La Figura 3.42 explica la interpretación geométrica de los valores scores y loading. Los scores son las proyecciones de las muestras en la dirección de los componentes principales e los loading son los ángulos entre cada componente principal y cada variable.

Figura 3.42- Gráfico bidimensional (λ_1, λ_2) con ejes de componentes principales (PC1, PC2)



Fuente: (FERREIRA et al, 1999).

Los "scores" de una muestra son representados por (—) y los "loadings" por (----) las líneas discontinuas (—..—) representan las coordenadas de una muestra en relación a los ejes originales.

3.4.8.4.3 Hidraulicidad

La naturaleza del análisis químico es de tal importancia que interpreta la presencia de agregados carbonatados como la cal. Muchas veces, el análisis químico será útil para estimar el grado de hidraulicidad de un determinado material, lo que es útil para formulación de un elemento de reposición o sustitución (TELES, 2010).

El índice de hidraulicidad o puzolaneidad³⁴ define numéricamente la relación en peso de los silicatos, aluminatos y óxidos de hierro respecto al óxido de cal y de magnesio. Es una proporción entre la fase aérea (CH), y las fases hidráulicas, teniendo como polos extremos:

³⁴ Desde el siglo XIX se viene midiendo numéricamente este grado de hidraulicidad a través de distintos módulos índices, siendo el más conocido el de Vicat que compara la proporción entre óxidos: $i_H = S + A + F / C + M$

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

de un lado la cal aérea (compuesta sólo de hidróxido cálcico $\text{Ca}(\text{OH})_2$) y del otro el cemento o arcillas (compuesto sólo de silicatos y aluminatos cálcicos). Entre medias estarían las cales hidráulicas clasificadas en débilmente, medianamente o fuertemente hidráulicas, según la proporción de fases (SEPULCRE AGUILAR, 2003).

Es un índice utilizado tanto para las cales como también para los morteros y otros elementos constructivos de tierra, porque además de la cal ser un aglomerante casi omnipresente en las estructuras y edificios históricos, muchos aditivos eran utilizados para crear una variabilidad en las características de esos materiales (ALEJANDRE SÁNCHEZ, 2002; BEDOLLA ARROYO et al, 2009), como su condición de hidraulicidad. También sirve para designar el grado de fraguado y la potencialidad de plasticidad y trabajo de un material. Esto significa que el fraguado puede tener lugar, en mayor o menor grado, bajo el agua. Así, mientras que un exceso de agua disgrega la pasta de cal aérea, el agua favorece el fraguado y endurecimiento de las cales hidráulicas y cementos.

En todos los aglomerantes hidráulicos se producen reacciones que finalmente forman *silico-aluminatos* de calcio hidratado, que son los responsables del fraguado y endurecimiento del mortero. La hidraulicidad de estos aglomerantes resulta del hecho de que los silico-aluminatos de calcio hidratado se forman en presencia de agua.

Hasta poco tiempo se pensaba que eso era una innovación de los Romanos, pero en estudios recientes (MARAVELAKI-KALAITZAKI, BAKOLAS y MOROPOULOU, 2003) se demostró que en Creta, en el Periodo Minoico Reciente (1580 a.C. – 1100 a.C), ya se usaba tanto cerámicas molidas como puzolanas para la composición de morteros. Si se añade en la arena de río o marina una tercera parte de cerámica molida y tamizada, el mortero tendrá más resistencia y mejor trabajabilidad (VITRUVIO, 1997).

Ese índice de hidraulicidad o puzolaneidad viene dado por la siguiente expresión:

$$IP = \frac{\% \text{arcilla}}{\% \text{Carbonato}} \Rightarrow \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}$$

Así, el tiempo de fraguado y endurecimiento es función del índice de hidraulicidad, como se expresa en la Tabla 3.7:

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 3.7 - Índice de hidraulicidad según Vicat

Índice de hidraulicidad	Tipo	Tiempo de fraguado
0.10 – 0.16	Débilmente hidráulica	2 semanas – 1 mes
0.16 – 0.31	Medianamente hidráulica	1 semana – 2 semanas
0.31 – 0.42	Propiamente hidráulica	4 días – 1 semana
0.42 – 0.50	Eminentemente hidráulica	Menos de 4 días
0.50 – 0.65	Cemento lento	1 – 12 horas
0.65 – 1.20	Cemento rápido	5 – 15 minutos

Fuente: ÁLVAREZ GALINDO, 1995.

Los conglomerantes cuyos índices de hidraulicidad son superiores a 0,5 se consideran cementos naturales y contienen más de 22 % de arcillas (PÉREZ, 2011).

3.4.8.5 Cromatografía de gases (CG) acoplada a espectrometría de masas (EM)

La Cromatografía de gases es la principal técnica analítica para la separación de compuestos volátiles, por su rápido análisis, resolución, fácil operación y excelentes resultados cuantitativos. Pero es una técnica que no puede confirmar la identidad o estructura de cada pico. Los tiempos de retención son característicos de cada compuesto pero no son únicos (McNAIR, 1997).

Por su parte, las técnicas analíticas de carácter fundamentalmente cualitativo tampoco son adecuadas para el análisis de mezclas ya que, salvo en el caso de que uno de los componentes de la mezcla sea muy mayoritario, normalmente se obtiene juntas las señales correspondientes a todos los componentes de la mezcla, de la forma que los datos obtenidos son excesivamente complejos como para permitir una interpretación de carácter cualitativo.

Para solucionar el problema de identificar los diversos componentes de una mezcla se ha recurrido al acoplamiento entre un equipo cromatográfico y una técnica de carácter cualitativa capaz de identificar los compuestos que eluyen de la columna cromatográfica (CHIARADIA, COLLINS y JARDIM, 2008). Los equipos analizadores para que puedan ser acoplados a una técnica cromatográfica deben cumplir tres requerimientos. a) ser capaces de trabajar que con pequeñas cantidades de compuestos que eluyen de una columna cromatográfica (rango de 1µg a 1ng); b) el tiempo para una identificación debe ser muy

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

corto para poder obtener datos en tiempo real y c) tener un sistema informático capaz de recoger y tratar datos a gran velocidad.

El acoplamiento entre un cromatógrafo de gases y un espectrómetro de masas es la técnica combinada de más amplia utilización ya que reúne todos los requisitos mencionados y reúne una enorme capacidad de separación que ofrece el cromatógrafo con la sensibilidad y capacidad de aportar información estructural del espectrómetro.

La Cromatografía de Gases y la Espectrometría de Masas son muy compatibles. Los dos trabajan a altas temperaturas (200 – 300°C), ambos trabajan con compuestos en estado gaseoso y ambos requieren pequeños tamaños de muestra (micro o nanogramos). El único problema es que la CG, trabaja a una presión ligeramente superior a la atmosférica, mientras la EM trabaja bajo alto vacío (McNAIR, 1997).

La espectrometría de masas es una técnica basada en la fragmentación e ionización de los átomos y/o moléculas de la muestra que se separan posteriormente según su relación m/z . Los iones y fragmentos separados llegan al detector y se obtiene el espectro de masas correspondiente al compuesto, que nos indica la abundancia del ión y de sus fragmentos respecto a m/z .

El espectrómetro de masas consta de tres partes:

- Fuente de ionización: como su nombre indica es la encargada de ionizar los componentes de la muestra introducida, cada uno de ellos lo hace de manera característica.

En un Ionizador por Impacto Electrónico (EI) (el que dispone nuestro equipo de trabajo) se genera una corriente electrónica de 70eV. La muestra introducida llega en estado gaseoso a la fuente de ionización y es sometida a dicha corriente, lo que provoca la fragmentación e ionización de sus componentes. Los iones formados se dirigen al analizador, cuyo movimiento se ve favorecido por el vacío al que está sometido el sistema.

- Analizador: en este espacio es donde se produce la separación de los iones según su relación m/z . En este caso el tipo de analizador empleado es un cuadrupolo, que consiste en cuatro barras metálicas paralelas a un eje y equidistantes de éste. Dos de estas barras (opuestas entre sí) están cargadas positivamente, mientras que las otras dos lo están negativamente, lo que favorece la separación de los iones de la muestra. Éstos son guiados por el hueco interno que forman las barras y conducidos hasta el detector.

- Detector: los iones separados llegan al detector registrándose una señal eléctrica que puede ser amplificada, almacenada y tratada. La señal producida por cada ión es proporcional a su abundancia relativa, que representada frente a m/z es lo que se denomina Espectro de Masas.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Los espectros de masas, el ión formado y sus fragmentos, son característicos de cada compuesto químico por lo que pueden utilizarse para identificarlos al ser comparados con los espectros de masas de las espectrotecas que existen en la actualidad.

Para el estudio de compuestos orgánicos una de las técnicas más utilizadas es la GC-MS, cuyas características más importantes son:

- Alta sensibilidad, se necesita una mínima cantidad de muestra.
- Alta resolución, permite el análisis de mezclas complejas siempre que éstas puedan ser analizadas por GC.
- Facilidad y comodidad.
- Permite la automatización, pudiendo introducir hasta 100 muestras seguidas.

Además, el espectrómetro de masas permite trabajar de dos modos diferentes según el objetivo del análisis.

Modo SCAN:

Este modo se emplea fundamentalmente con fines identificativos y consiste en la realización de un barrido lineal en un rango de m/z preestablecido por el analista, dando lugar a espectros de masas completos dentro de ese rango.

Un parámetro importante es la elección del rango de medida, debe coincidir con la zona de mayor información analítica sin ser demasiado amplio, ya que aumentaría el tiempo de barrido y se reduciría la calidad de la señal.

Modo SIM:

El modo SIM se emplea esencialmente para la cuantificación de compuestos. Se trata de la búsqueda selectiva de compuestos cuyo espectro de masas contenga unos iones concretos seleccionados previamente por el operador. La comparación de las respuestas obtenidas con las de un patrón permite confirmar la identificación de un compuesto.

3.4.8.5.1. Instrumentación

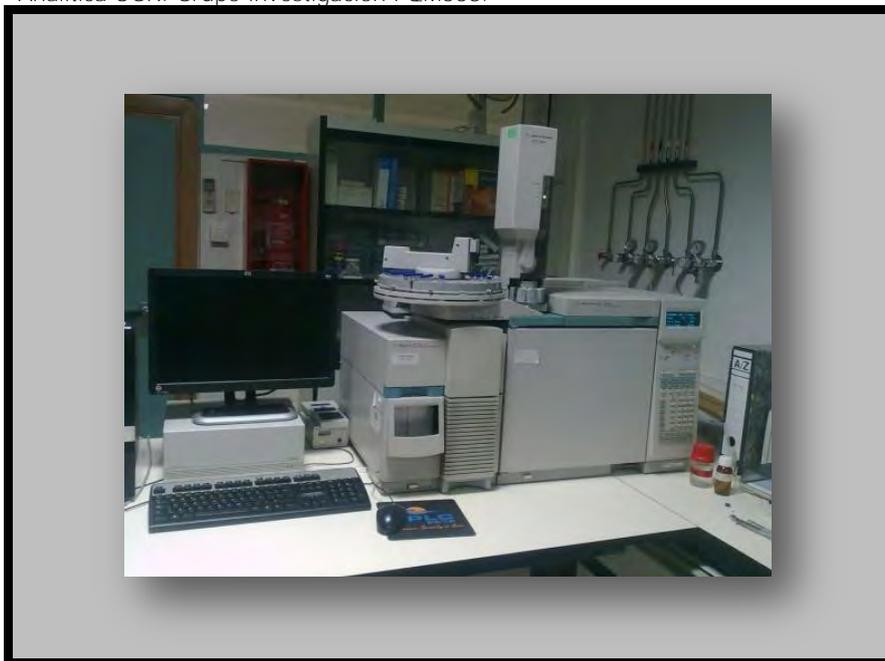
Las muestras se han analizado:

- o en un cromatógrafo de gases AGILENT TECHNOLOGIES MODELO 6890 N, equipado con:
 - Portal de inyección para columnas capilares con división de muestra
 - Horno cromatográfico con un rango de temperatura 20 – 400 °C
 - Interfase de transferencia directa de muestra al espectrómetro de masas

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

- Columna capilar de sílice Zebron Phenomenex ZB-5MS (30 m x 0,25 mm, 0,25 μm de tamaño de partícula)
- Sistema de inyección automático, provisto de:
 - Inyector automático Agilent Technologies Modelo 7683
 - Bandeja portamuestras Agilent Technologies Modelo 7683
 - Jeringa Hamilton de 10 μL
- en un espectrómetro de masas AGILENT TECHNOLOGIES MODELO 5973 NETWORK, provisto de:
 - Fuente de ionización por impacto electrónico a 70 eV.
 - Separador de iones tipo cuadrupolo
 - Bomba de vacío Edwards High Vacuum Puma
 - Medidor de vacío Agilent Technologies Modelo 59864B

Figura 3.43– Cromatógrafo de gases acoplado a Espectrómetro de masas. Dpto Química Analítica UGR. Grupo investigación FOM338.



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

3.4.8.6 Base de datos

Con la caracterización realizada, utilizando las técnicas descritas anteriormente, y la información obtenida, se ha elaborado una base de datos con todas las muestras analizadas, incluida como anexo en esta memoria (Figuras 3.44 – 3.45).

Esta base incluye los siguientes parámetros:

- a) Yacimiento
- b) Procedencia
- c) Sigla
- d) Número de inventario
- e) Localización
- f) Cronología
- g) Naturaleza
- i) Observaciones
- J) Imagen de muestra con mediciones
- l) Imagen macroscópica
- m) Imagen de aspecto textural
- n) Diagrama de difracción de rayos X

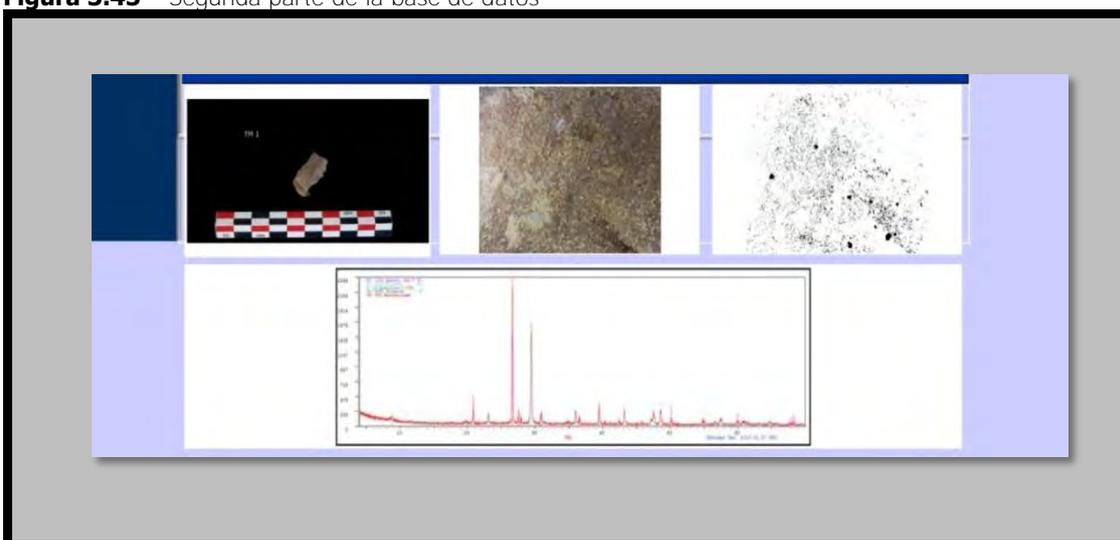
Figura 3.44 – Primera parte de la base de datos

The screenshot shows a web-based database interface for 'Material Constructivo'. On the left, there is a vertical navigation menu with buttons for 'Nuevo', 'Borrar', 'Todos', 'Ordenar', 'Buscar', and 'Imprimir'. The main area displays a record with the following fields:

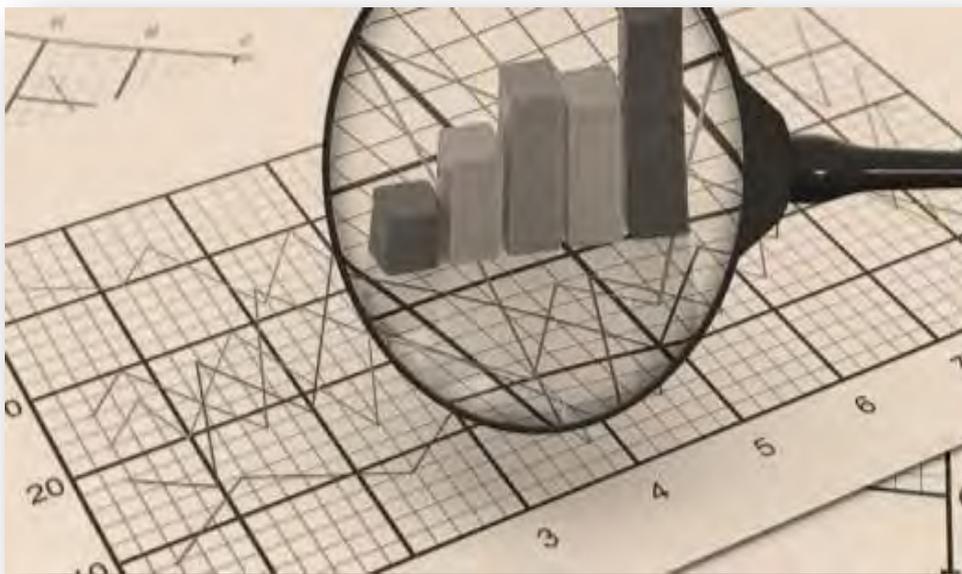
Material Constructivo			
Procedencia	Cataluña	Yacimiento	Tossal del Moro
Siglado	TM1	Nº Inventario	01
		Localización	Indeterminada
Cronología	s. IV a. C.	Naturaleza	Adobe
Observaciones	Fragmento extraído de pieza de dimensiones 24x16x9,5 cm Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ANORTOCLASA		

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 3.45 – Segunda parte de la base de datos



Resultados



4. RESULTADOS

En este capítulo se exponen los resultados correspondientes a la caracterización y diferenciación de los adobes y morteros antiguos analizados. Los resultados se presentan agrupados por yacimientos, que están ordenados siguiendo un criterio geográfico y cronológico, el orden es el siguiente:

1 –Nordeste de la Península Ibérica (Actual Cataluña)

- A) El Puig Roig del Roget - siglo X-VII a.C.
- B) El Turó Calvari – siglo VI a.C.
- C) El Tossal del Moro de Pinyeres – siglo IV a.C.
- D) Els Castellons de Flix – siglo IX a.C./I a.C.
- E) Sant Miquel de Vinebre – siglo II/I a.C.
- F) Costa Capellans – siglo I a.C./I d.C.
- G) La Villa de Barrugat – siglo I a.C./VII d.C.

2 – Sur de la Península Ibérica (Actual Andalucía)

- A) Villaricos – siglo VI a.C./II a.C.
- B) Cerro del Santuario - siglo V/IIIa.C
- C) Cerro Cepero – siglo II a.C.

En cada apartado, la presentación de resultados sigue el siguiente esquema:

1. Análisis textural
2. Estudio mineralógico
3. Ensayo granulométrico
4. Ensayo para determinación de límites de Atterberg
5. Estudio químico

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

4.1 Yacimiento de Puig Roig del Roget

En este yacimiento se han estudiado 25 muestras, siendo 13 de adobe y 12 de mortero (6 de argamasa, 4 de pavimento y 2 de revestimiento). Se trata de fragmentos con dimensiones entre 3 a 13 cm y tonalidad que van de gris a rosáceo, pasando por gris rosáceo, marrón claro, rosa amarronado, y blanco rosáceo (Tabla 4.1).

Tabla 4.1 – Coordenadas cromáticas de Puig Roig del Roget

Muestras	Munsell	Colorimetría		
		L	a	b
PR-1	7.5YR 7/3 PINK	56,06	13,27	22,95
PR-2	7.5YR 7/3 PINK	55,98	13,31	22,86
PR-3	5YR 7/2 PINKISH GRAY	56,93	7,96	24,21
PR-4	7.5YR 5/1 GRAY	58,35	5,06	15,84
PR-5	7.5YR 6/2 PINKISH GRAY	59,65	7,18	18,29
PR-6	7.5YR 7/2 PINKISH GRAY	58,49	6,98	17,25
PR-7	7.5YR 7/3 PINK	56,89	8,08	24,14
PR-13	5YR 7/3 PINK	63,03	7,62	15,52
PR-14	5YR 7/3 PINK	59,20	9,09	16,91
PR-15	7.5YR 7/3 PINK	65,47	6,98	17,91
PR-16	5YR 6/3 LIGHT REDDISH BROWN	54,21	11,89	17,05
PR-17	7.5YR 8/2 PINKISH WHITE	72,41	6,84	19,62
PR-18	7.5YR 7/2 PINKISH GRAY	60,59	7,29	19,12
PR-19	7.5YR 7/2 PINKISH GRAY	58,53	7,13	17,15
PR-20	7.5YR 5/1 GRAY	58,28	5,17	16,02
PR-21	7.5YR 7/2 PINKISH GRAY	59,63	6,71	17,36
PR-22	10YR 7/2 LIGHT GRAY	58,03	4,78	15,61
PR-23	7.5YR 7/2 PINKISH GRAY	62,24	7,49	20,67
PR-24	7.5YR 6/3 LIGHT BROWN	48,79	8,21	18,59
PR-25	7.5YR 7/4 PINK	56,13	12,87	22,72
PR-26	5YR 7/4 PINK	56,07	13,16	22,86
PR-27	5YR 7/3 PINK	55,86	12,93	22,84

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

PR-28	5YR 6/3 LIGHT REDDISH BROWN	55,09	8,91	19,08
PR-29	5YR 7/1 LIGHT GRAY	57,88	4,84	15,68
PR-30	5YR 7/4 PINK	55,93	12,77	22,69

En base a su naturaleza, composición mineralógica y características texturales, se han diferenciados cinco grupos de muestras que son los siguientes:

❖ Grupo PR- I

Formado por 13 muestras de adobes, este grupo se caracteriza por presentar cuarzo, calcita y moscovita como componentes minerales mayoritarios y textura general porosa y granular.

La Figura 4.1 muestra el aspecto que presentan los fragmentos analizados.

Figura 4.1 – Fragmentos de adobes (grupo PR-I)



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

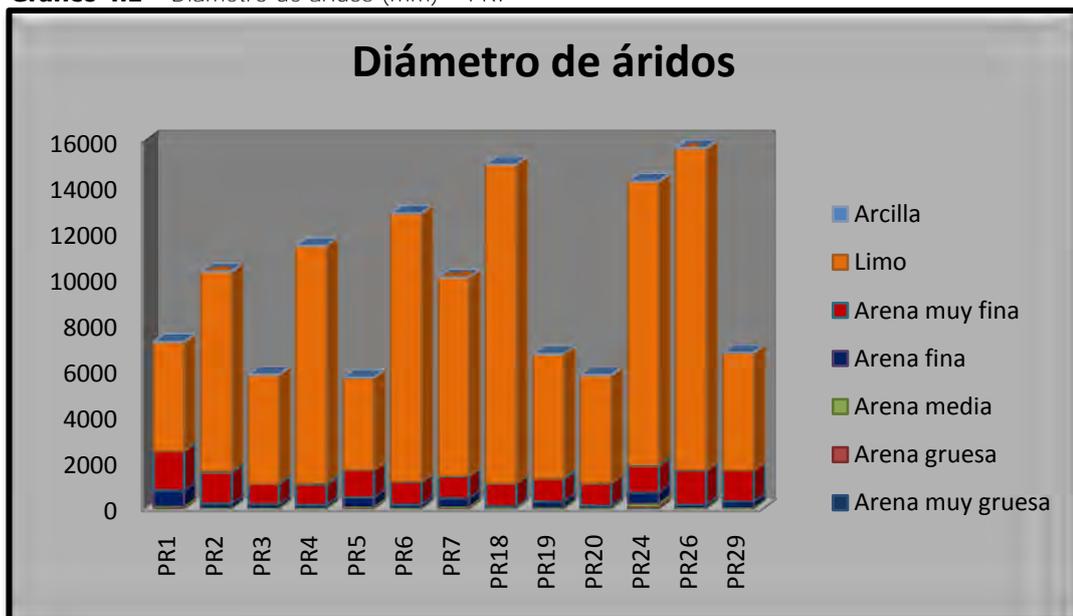


- Análisis textural

El grupo está compuesto de fragmentos con morfología irregular, de estructura muy poco compacta y con presencia visible de material orgánico. Poseen pequeñas diferencias de color y textura, aunque sin llegar a constituir tipos diferenciados respecto a las características generales del grupo.

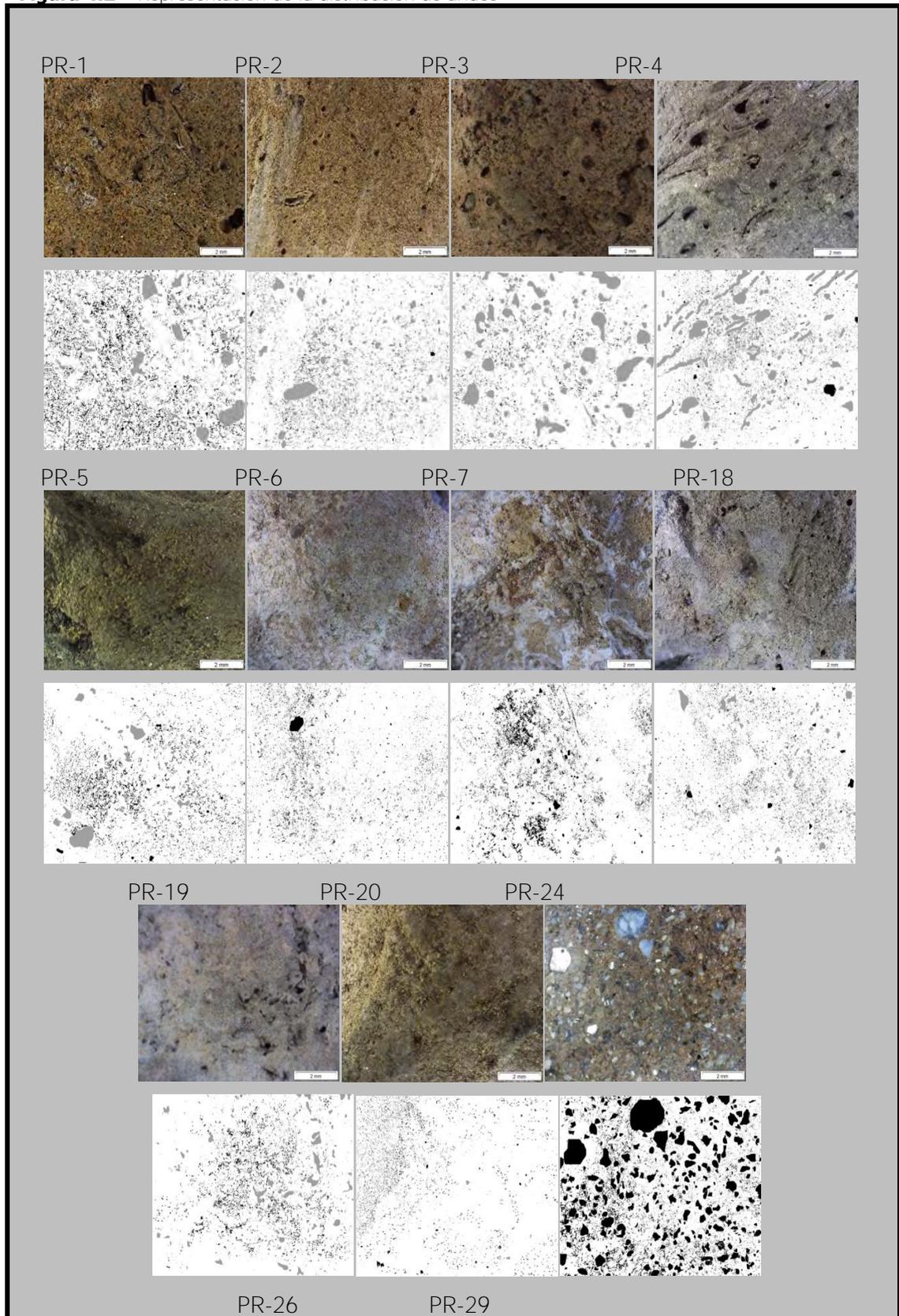
En el grupo se observa la presencia mayoritaria de limo, seguido de arena de grano fino y muy fino (Gráfico 4.1). Los conglomerados poseen estructura homogénea con características de áridos granulares y arcillosos, de aspecto liso, aristas redondeadas y con pocas impurezas visibles. Los áridos tienen distribución moderada en PR-1, PR-24, PR-29; están bien distribuidos en PR-3 y mal distribuidos en las demás muestras (Figura 4.2).

Gráfico 4.1 – Diámetro de áridos (mm) – PR1

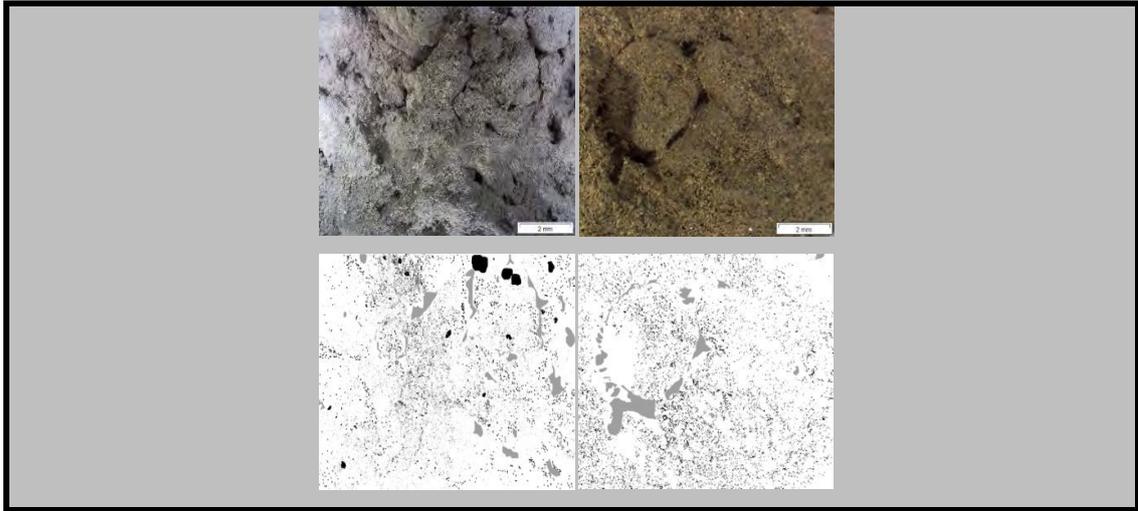


Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.2 – Representación de la distribución de áridos



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra



Existe predominio de poros de tamaño muy fino, seguidos de finos (Gráfico 4.2). En cuanto a la abundancia, los poros son muy pocos en PR-6 y PR-24; pocos en PR-1, PR-2, PR-5, PR-7 y PR-29 y común en la muestra PR-3, PR-4, PR-18, PR-19, PR-20 y PR-26 (Tabla 4.2). En ese grupo se encuentran abundantes perforaciones y moldes de posibles restos vegetales, que están dispuestos de modo aleatorio y tienen tamaños pequeños y medios. Los poros poseen la categoría preponderante de transmisión, seguido de la clase de enraizamiento, de canal y almacenamiento (Gráfico 4.3). Atendiendo a la clasificación, se observan poros intersticiales, vesiculares, cavidades y canales, reafirmando la probable utilización de elementos vegetales en la mezcla para la fabricación de los adobes (Figura 4.2).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Grafico 4.2 – Tamaños de poros (mm)

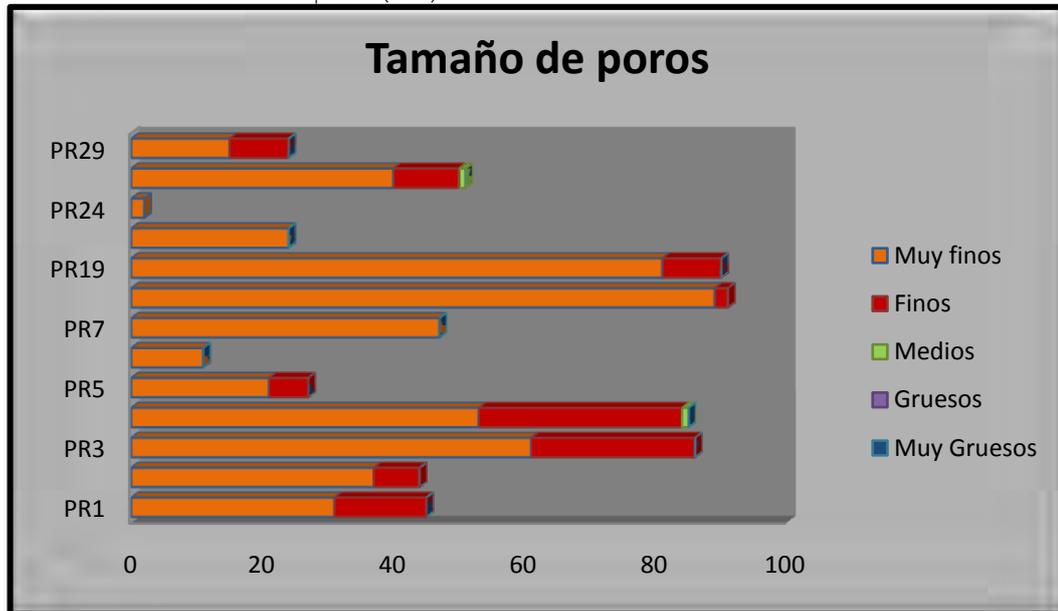
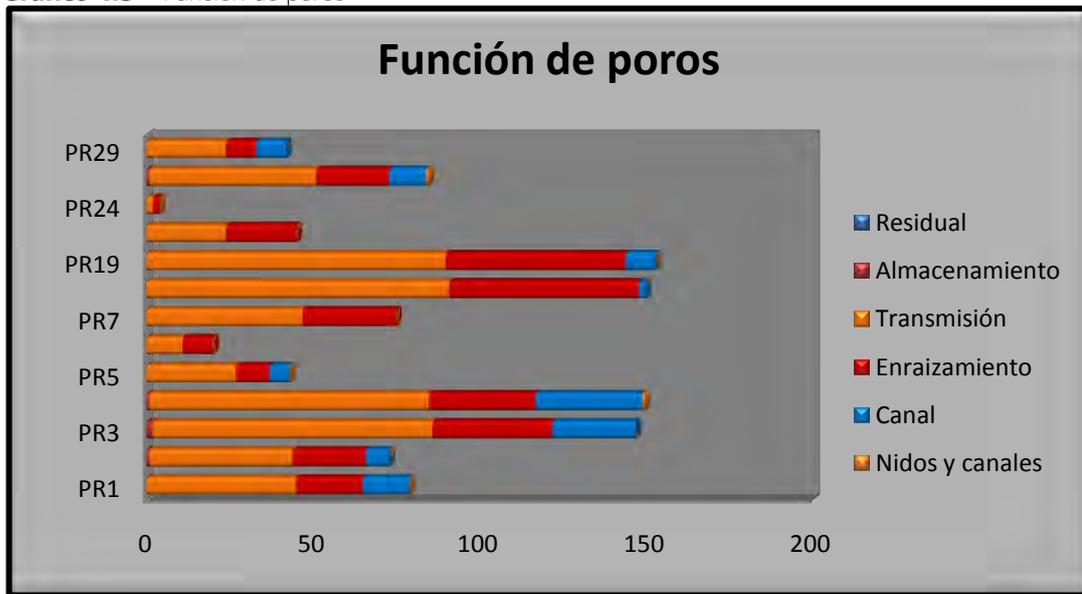


Tabla 4.2 – Número de poros por cm² - PR1

Abundancia	Muy pocos (1-20)	Pocos (20-50)	Comunes (50-200)
PR1	-	45	-
PR2	-	44	-
PR3	-	-	86
PR4	-	-	74
PR5	-	27	-
PR6	11	-	-
PR7	-	47	-
PR18	-	-	91
PR19	-	-	90
PR20	-	24	-
PR24	2	-	-
PR26	-	-	51
PR29	-	24	-

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

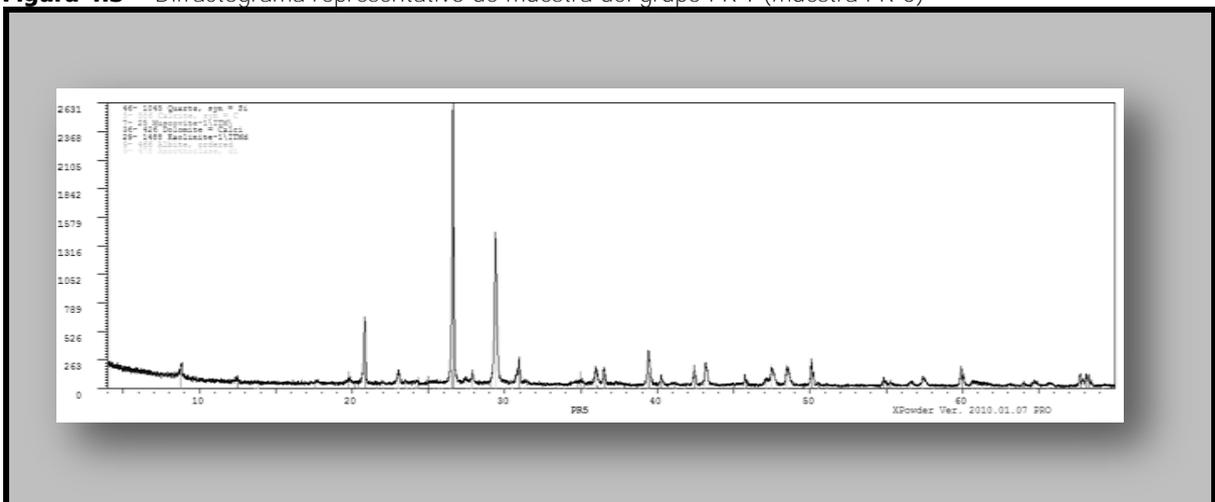
Gráfico 4.3 – Función de poros



- Estudio mineralógico

El difractograma recogido en la Figura 4.3 es representativo de la mineralogía de este grupo.

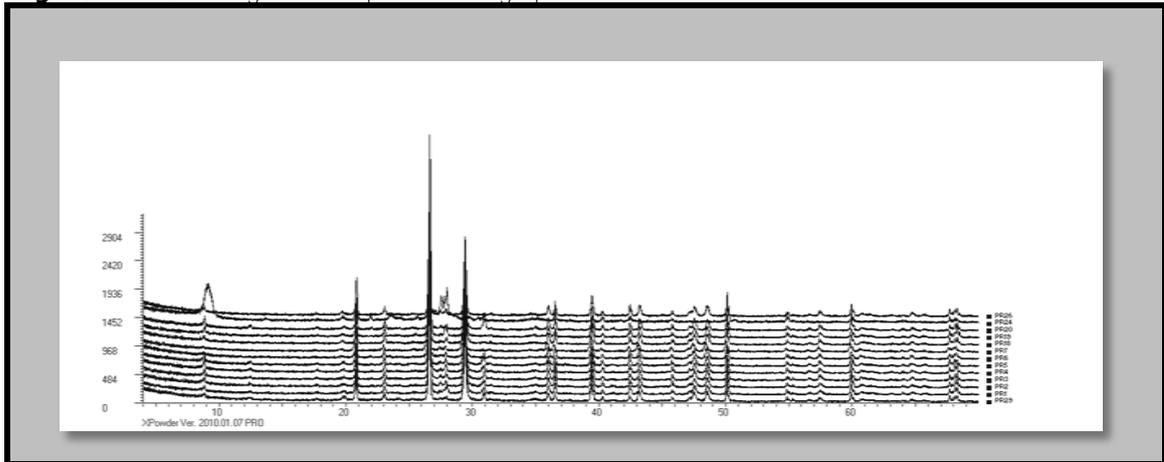
Figura 4.3 – Difractograma representativo de muestra del grupo PR-I (muestra PR-5)



La Figura 4.4 recoge los difractogramas comparados de las distintas muestras.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.4 – Difractograma comparativo del grupo PR-I



Las muestras están constituidas por carbonatos (calcita y dolomita), filosilicatos (tipo moscovita / illita y caolinita), tectosilicatos (cuarzo, cristobalita y feldespatos tipo anortoclasa y albita). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 – Composición mineralógica de adobes (%)

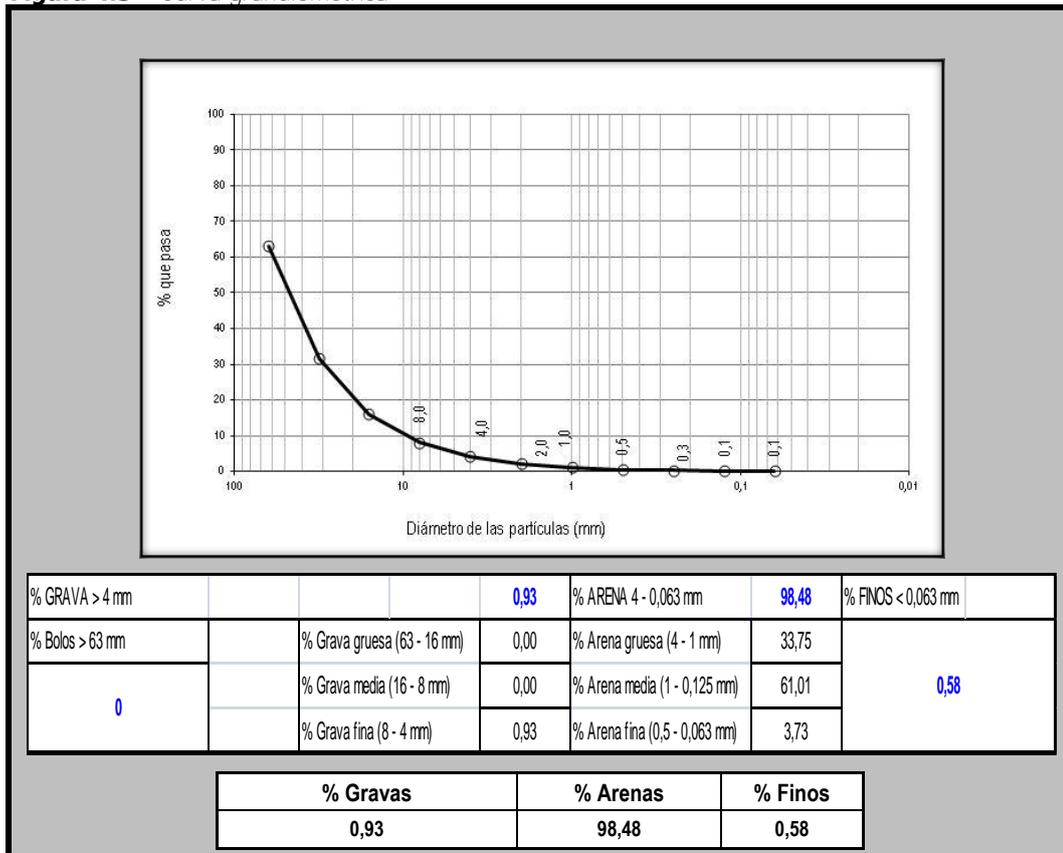
Muestras	PR1	PR2	PR3	PR4	PR5	PR6	PR7	PR18	PR19	PR20	PR24	PR26	PR29
Cuarzo	30	39	27	34	26	42	31	31	44	28	39	31	29
Calcita	23	31	31	34	24	40	41	36	36	25	03	32	24
Moscovita	24	09	24	08	31	07	09	26	08	22	28	27	29
Dolomita	08	08	08	08	10	00	00	00	00	13	00	00	07
Albita	09	03	03	03	03	04	06	03	06	00	09	03	02
Ortoclasa	00	00	00	00	00	00	00	00	04	00	00	00	00
Anortoclasa	04	05	04	06	03	06	12	04	00	04	20	05	04
Caolinita	02	05	03	02	03	00	00	00	00	03	00	00	04
Cristobalita	00	00	00	03	00	00	00	00	00	03	00	00	00

- Ensayo granulométrico

Las muestras están compuestas por mayoría de arena media, seguida por arena gruesa (Figura 4.5).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.5 – Curva granulométrica



- Ensayo para determinación de límites de Atterberg

La tabla 4.4 y la Figura 4.6 recogen los índices de Atterberg de las muestras del grupo. Se puede ver el predominio de muestras clasificadas en arcilla de baja plasticidad (CL) en comparación con las de limo de baja plasticidad (ML).

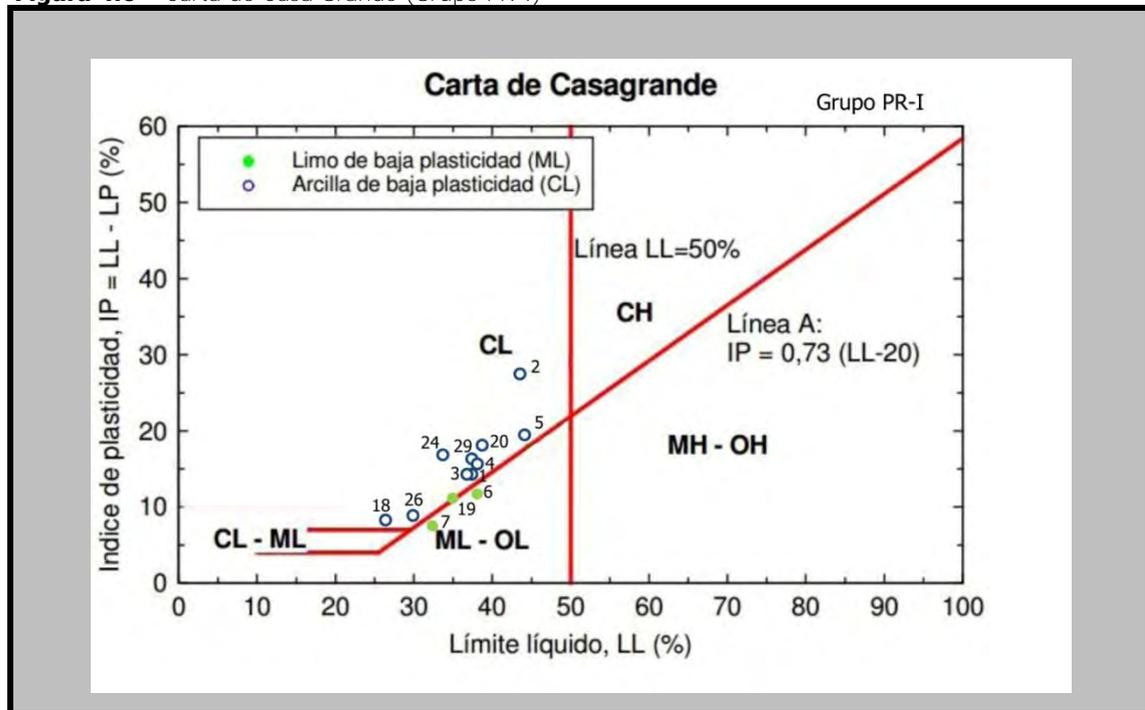
Tabla 4.4 – Límites de Atterberg

Resultado del ensayo				
Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Clasificación
PR1	36,88	22,30	14,58	CL
PR2	44,10	16,25	27,85	CL
PR3	36,43	21,35	15,08	CL
PR4	37,30	21,05	16,25	CL
PR5	44,50	24,65	19,85	CL
PR6	37,42	23,75	13,66	ML
PR7	32,10	24,67	7,43	ML
PR18	26,51	18,59	7,92	CL
PR19	35,75	23,99	11,76	ML
PR20	38,47	20,30	18,17	CL
PR24	34,89	17,39	17,50	CL

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

PR26	30,41	21,32	9,09	CL
PR29	36,93	21,75	15,18	CL

Figura 4.6 – Carta de Casa Grande (Grupo PR-I)



- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo PR-I comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios la sílice (SiO_2 – 34,38 a 53,8 % en peso), la cal (CaO – 3,72 a 27,56 % en peso), el aluminio (Al_2O_3 – 8,76 a 21,38 % en peso) y compuestos de hierro (Fe_2O_3 – 2,95 a 6,5 % en peso); mientras que los componentes minoritarios son óxido de magnesio (MgO – 1,67 a 2,64 % en peso), feldspatos ($Na_2O + K_2O$), micas (óxidos de silicio y aluminio ligados a potasio, hierro y magnesio), compuestos dióxido de titanio (TiO_2 – 0,5 a 0,96 % en peso), óxido de fósforo (P_2O_5 -0,1 a 2,1 % en peso) y óxido de manganeso (MnO). Sin embargo en la muestra PR-24 el aluminio (Al_2O_3) es el segundo elemento mayoritario. La pérdida por calcinación (LOI) es de 6,14 a 20,7 % en peso. Como elementos traza con concentración superior a 100 PPM se puede ver el estroncio (Sr), el bario (Ba), el zirconio

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

(Zr), el cloro (Cl) y el cromo (Cr). Además de pequeñas cantidades de rubidio (Rb), zinc (Zn), níquel (Ni), galio (Ga), itrio (Y), bromo (Br) y plomo (Pb).

Las Tablas 4.5 y 4.6 representan la composición química del grupo.

Tabla 4.5 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
Muestras	%											
PR4	35,21	8,94	3,00	0,05	2,00	27,20	0,35	1,89	0,52	0,19	0,17	20,2
PR5	35,74	8,76	3,00	0,06	2,13	27,10	0,37	1,82	0,53	0,16	0,18	20,00
PR6	35,19	8,78	2,95	0,05	2,64	26,64	0,24	1,58	0,50	0,21	0,44	20,50
PR18	36,08	9,30	3,00	0,05	1,67	27,00	0,31	1,89	0,54	0,13	0,34	19,20
PR19	35,84	9,15	3,00	0,06	2,00	27,20	0,44	2,15	0,54	0,20	0,27	19,00
PR20	34,38	8,83	3,00	0,06	1,97	27,56	0,36	1,85	0,52	0,15	0,15	20,70
PR24	53,80	21,38	6,50	0,07	2,00	3,72	0,84	4,00	0,96	0,10	0,04	6,14

Tabla 4.6 - Composición química de los elementos traza

Composición química							
Muestras	PR4	PR5	PR6	PR18	PR19	PR20	PR24
Elementos	PPM						
S							
Cl	686	732	1762	1375	1072	616	139
Cr	194	163	201	137	350	204	281
Ni	130	110	119	146	125	96	157
Cu	29	30	29	39	25	34	28
Zn	57	60	53	55	70	53	128
Ga	67	58	64	57	62	56	98
Br	9	11	9	9	6	10	22
Rb	7	7	7	0	0	13	10
Sr	76	75	59	64	69	76	133
Y	619	673	735	897	779	630	219
Zr	0	19	0	0	20	20	29
I	317	334	325	325	322	322	218
Ba	0	0	54	0	0	0	0
Pb	269	324	334	452	365	273	1152
	0	0	0	0	0	41	37

Los índices de hidráulidad del grupo están representados en la Tabla 4.7 que indican que las muestras del grupo tienen características de cemento rápido (CR)

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.7 - Índice de hidraulicidad

Muestras	Índice de hidraulicidad	Clasificación
PR4	1,50	CR
PR5	1,51	CR
PR6	1,50	CR
PR8	1,57	CR
PR9	1,51	CR
PR20	1,45	CR
PR24	7,73	CR

❖ Grupo PR-II

Formado por 4 muestras de mortero tipo pavimento, este grupo se caracteriza por presentar cuarzo, calcita y moscovita como componentes minerales mayoritarios y la textura general es maciza y lisa.

El grupo está compuesto de fragmentos con morfología irregular, de estructura compacta y sin presencia visible de material orgánico. Poseen pequeñas diferencias de color y textura, aunque sin llegar a constituir tipos diferenciados respecto a las características generales del grupo.

La figura 4.7 muestra el aspecto que presentan los fragmentos analizados.

Figura 4.7 – Fragmentos de pavimento (grupo PR-II)



- Análisis textural

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

En el grupo se observa la presencia de mayoría de limo, seguido de arena de grano muy fino llegando a medio (Gráfico 4.4). Los conglomerados poseen estructura heterogénea con características de áridos de machaqueo, de aspecto áspero, aristas vivas y sin impurezas visibles. Los áridos tienen distribución moderada en PR-28 y PR-30; están mal distribuidos en PR-21 y muy mal distribuidos PR-27 (Figura 4.8).

Gráfico 4.4 – Diámetro de áridos (mm) - PR11

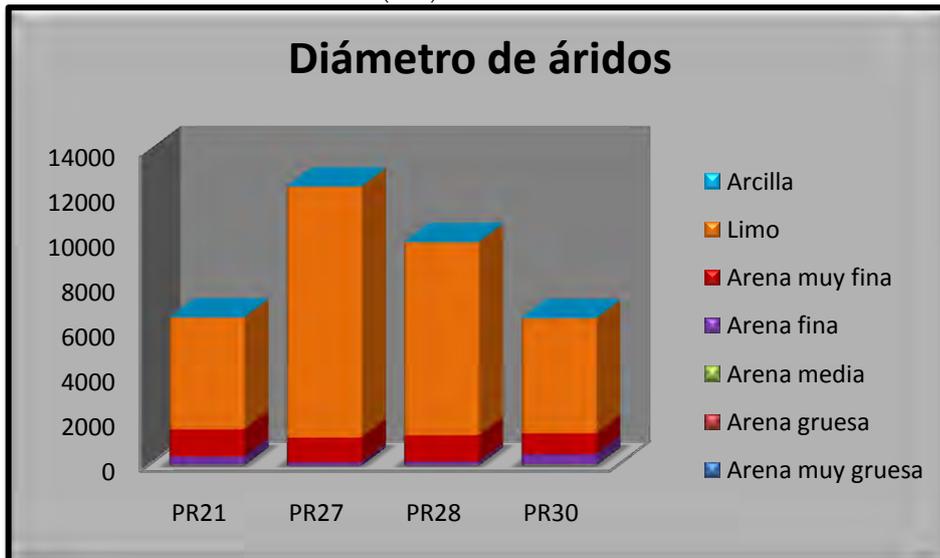
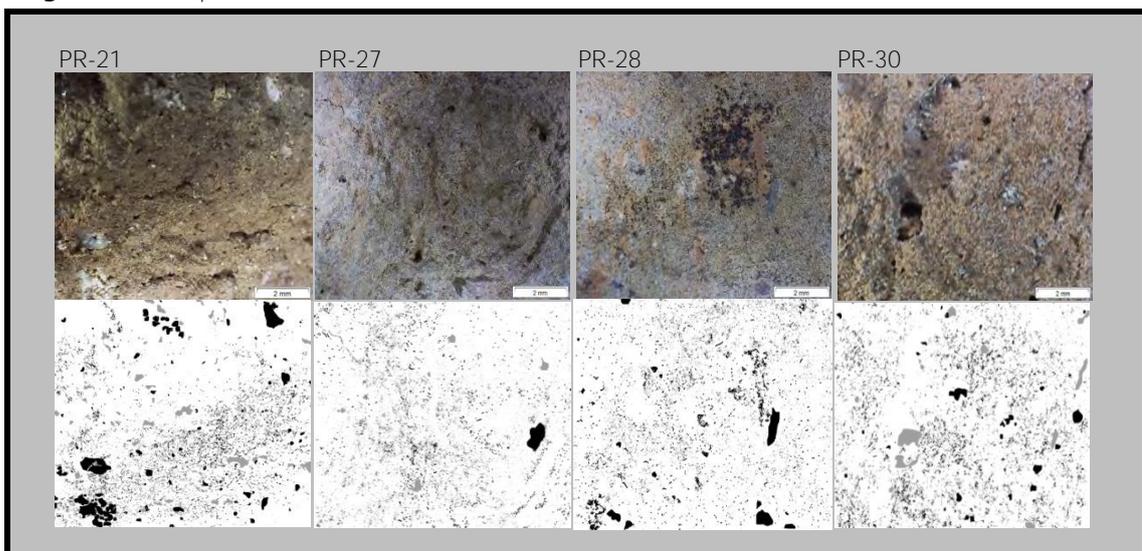


Figura 4.8 – Representación de la distribución de áridos



Existe predominio de poros de tamaño muy fino, seguidos de finos (Gráfico 4.5). En cuanto a la abundancia, los poros son pocos en PR-27 y PR-30 y común en la muestra PR-

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

21 (Tabla 4.8). En ese grupo no se encuentran perforaciones que caractericen moldes de restos vegetales. Los poros poseen la categoría preponderante de transmisión, seguido de la clase de enraizamiento y de canal (Gráfico 4.6). Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales, vesiculares, cavidades y canales, mostrando una posible utilización de elementos vegetales en la mezcla para la fabricación de los pavimentos (Figura 4.8).

Grafico 4.5 – Tamaño de poros (mm)

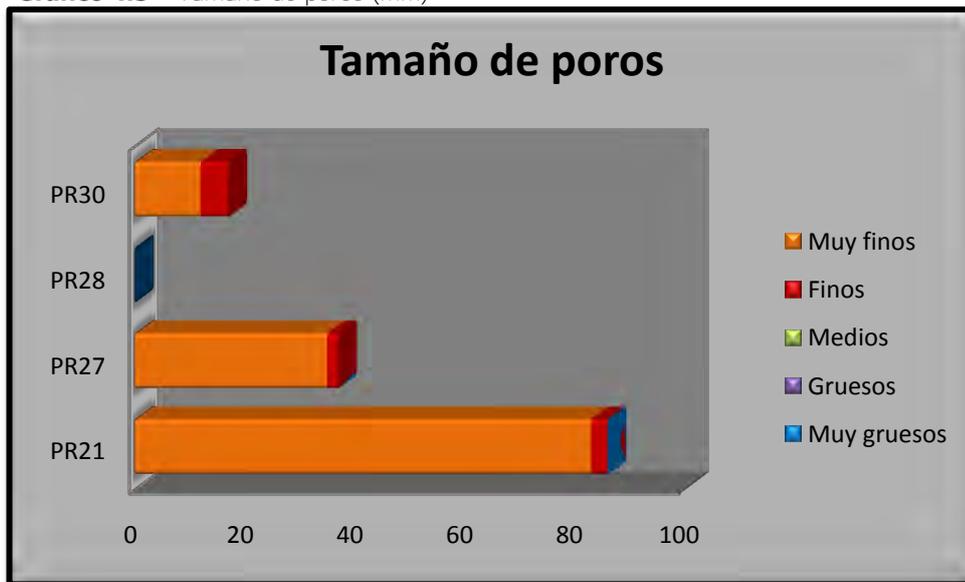
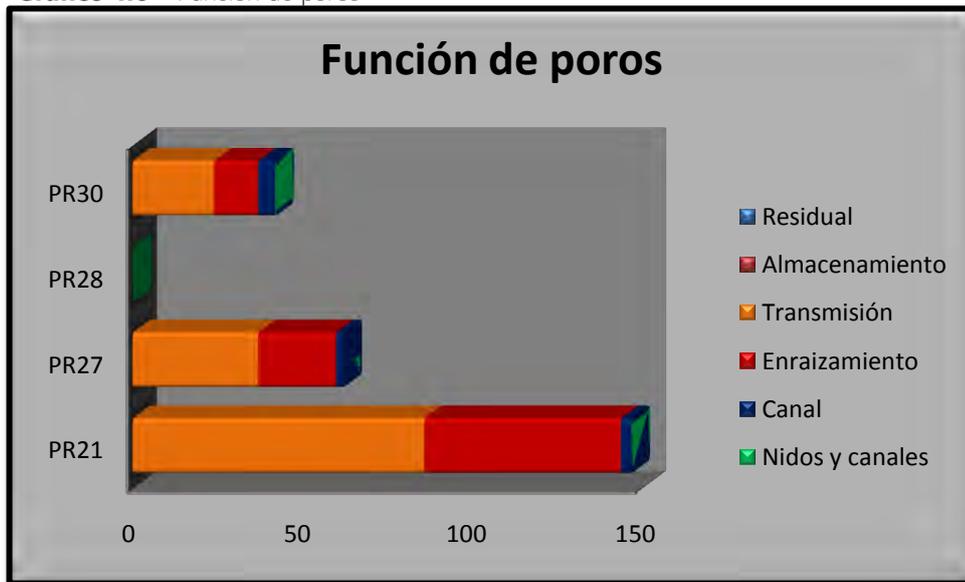


Tabla 4.8 – Número de poros por cm² - PRII

Abundancia	Pocos (20-50)	Comunes (50-200)
PR21	-	86
PR27	37	-
PR28	-	-
PR30	24	-

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

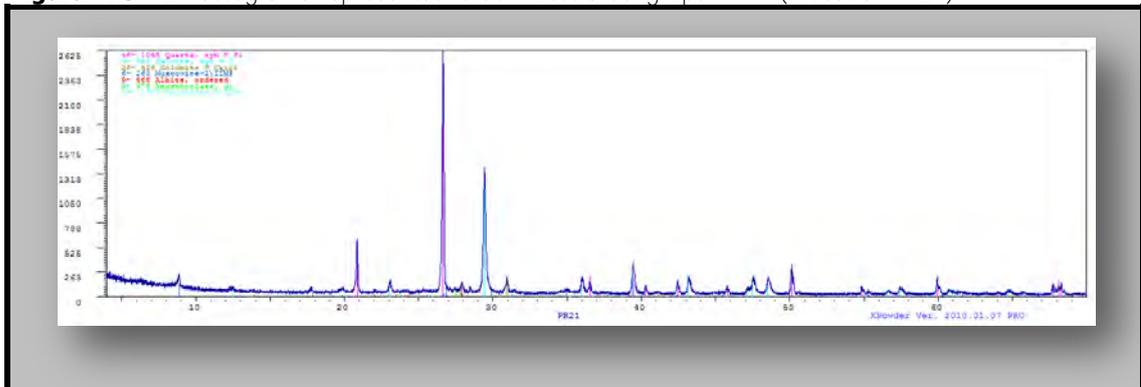
Gráfico 4.6 – Función de poros



- Composición mineral

El difractograma recogido en la Figura 4.9 es representativo de la mineralogía de este grupo.

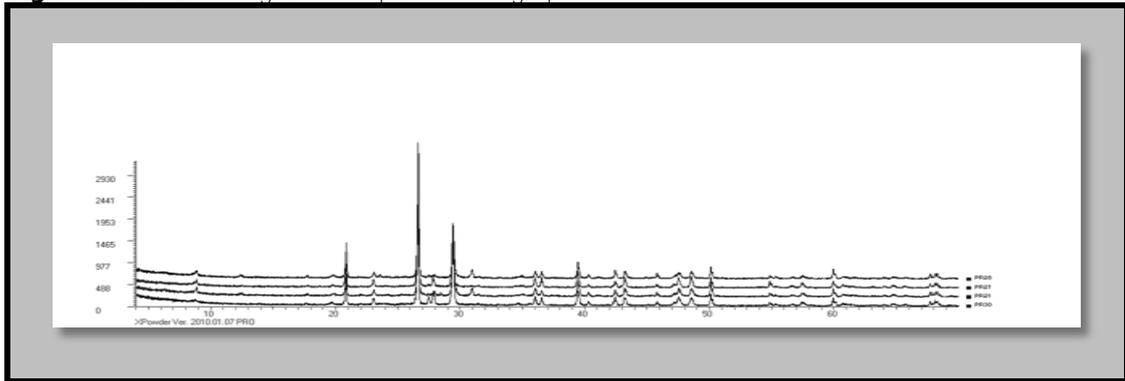
Figura 4.9– Difractograma representativo de muestra del grupo PR-II (muestra PR-21)



La Figura 4.10 recoge los difractogramas comparados de las distintas muestras.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.10 – Difractograma comparativo del grupo PR-II



Las muestras están constituidas por carbonatos (calcita y dolomita), filosilicatos (tipo moscovita / illita y caolinita) y tectosilicatos (cuarzo y feldespatos tipo anortoclasa y albita). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9– Composición mineralógica de pavimentos (%)

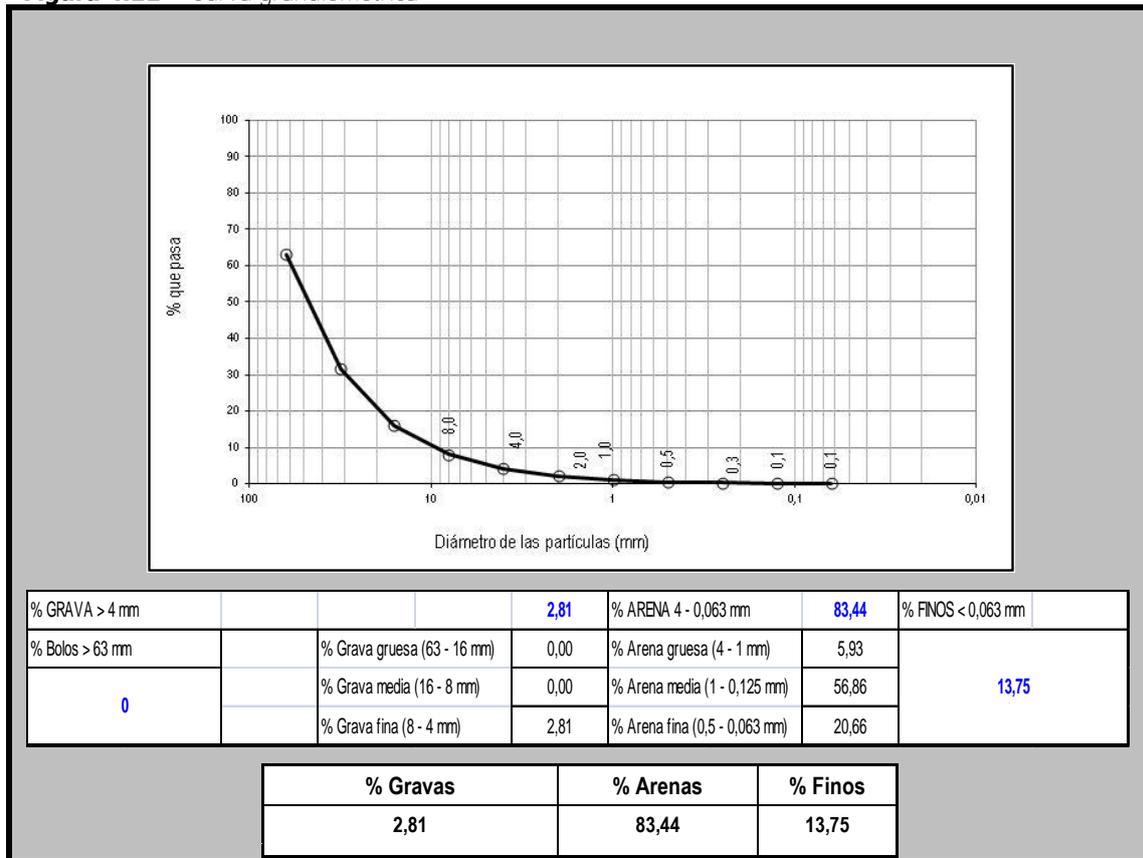
Muestras	PR21	PR27	PR28	PR30
Cuarzo	37	38	34	28
Calcita	32	29	32	31
Moscovita	09	22	08	23
Dolomita	10	00	13	00
Albita	03	00	03	07
Anortoclasa	05	10	05	10
Caolinita	03	00	04	00

- Ensayo granulométrico

Las muestras están compuestas por mayoría de arena media, seguida de arena fina (Figura 4.11).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.11 – Curva granulométrica



- Ensayo para determinación de límites de Atterberg

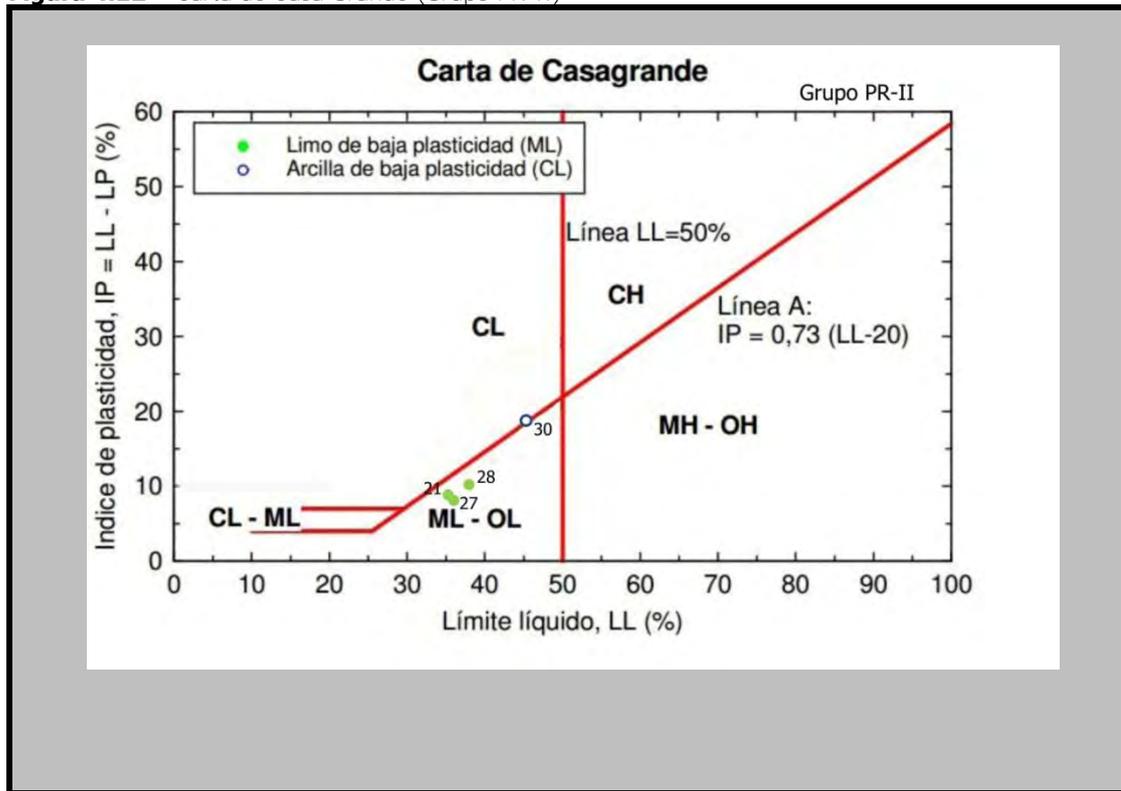
La Tabla 4.10 y la Figura 4.12 recogen los índices de Atterberg de las muestras del grupo. Se puede ver la predominancia de muestras clasificadas en limo de baja plasticidad (ML).

Tabla 4.10 – Límites de Atterberg

Muestra	Resultado del Ensayo			Clasificación
	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	
PR21	35,30	27,09	8,21	ML
PR27	35,38	27,62	7,76	ML
PR28	37,30	21,05	10,30	ML
PR30	45,00	26,45	18,55	CL

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.12 – Carta de Casa Grande (Grupo PR-II)



- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo PR-II comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios la sílice (SiO_2 - 34,78 a 37,3 % en peso), la cal (CaO – 25 a 30 % en peso) y el aluminio (Al_2O_3 – 8,39 a 10,24 % en peso) y en menor porcentaje compuestos de hierro (Fe_2O_3), óxido de magnesio (MgO), feldespatos ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), micas (óxidos de silicio y aluminio ligados a potasio, hierro y magnesio), compuestos dióxido de titanio (TiO_2), óxido de fósforo (P_2O_5) e óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 18,4 a 18,8 % en peso. Como elementos traza con concentración superior a 100 PPM se puede ver el estroncio (Sr), el bario (Ba), el zirconio (Zr), el cloro (Cl) y el cromo (Cr). Además de pequeñas cantidades de rubidio (Rb), níquel (Ni), arsénico (As), plomo (Pb), galio (Ga), itrio (Y) y bromo (Br).

Las Tablas 4.11 y 4.12 representan la composición química del grupo.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.11 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
Muestras	%											
PR27	34,78	8,39	3,00	0,07	1,50	30,00	0,40	2,63	0,48	0,12	0,15	18,4
PR28	37,30	10,24	3,30	0,05	1,93	25,00	0,34	2,00	0,54	0,12	0,13	18,8
PR30	48,64	6,60	2,52	0,05	1,60	21,89	0,44	1,48	0,56	0,09	00	18,4

Tabla 4.12 - Composición química de los elementos traza

Composición química			
Muestras	PR27	PR28	PR30
Elementos	PPM		
S	584	537	0
Cl	158	123	0
Cr	146	82	0
Ni	34	33	0
Cu	67	89	0
Zn	54	57	0
Ga	9	12	0
As	41	0	0
Br	10	6	0
Rb	66	70	0
Sr	698	645	709
Y	0	19	0
Zr	275	315	395
Ba	687	654	0
Pb	0	40	0

Los índices de hidraulicidad del grupo están representados en la Tabla 4.13 que indican que las muestras del grupo tienen características de cemento rápido (CR).

Tabla 4.13 - Índice de hidraulicidad

Muestras	Índice de hidraulicidad	Clasificación
PR27	1,33	CR
PR28	1,74	CR
PR30	2,27	CR

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

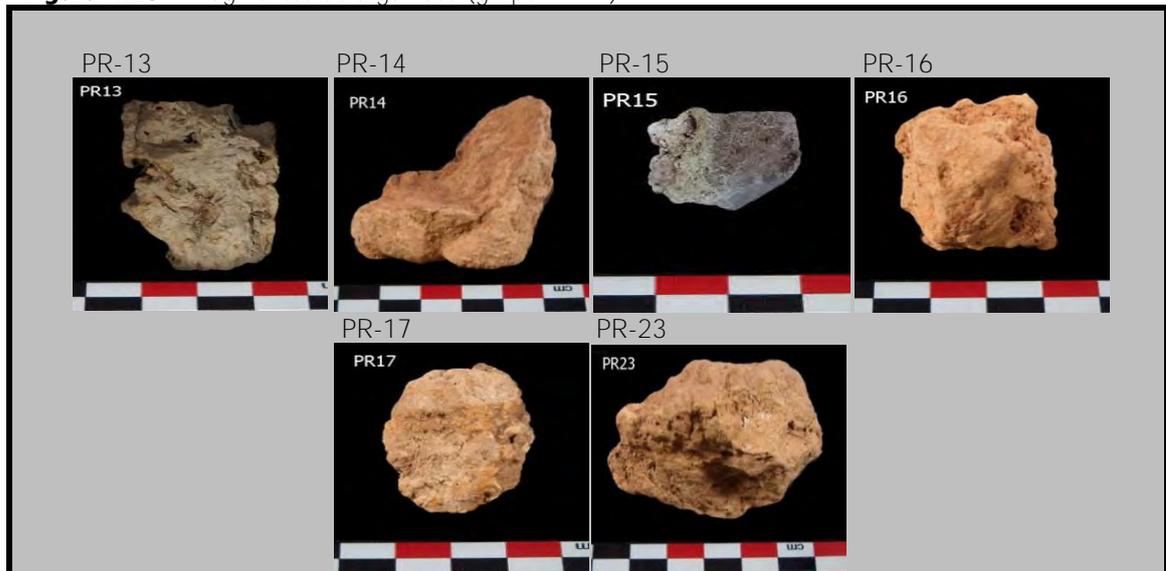
❖ Grupo PR-III

Formado por 6 muestras de morteros de tipo argamasa, este grupo se caracteriza por presentar cuarzo, calcita y moscovita como componentes minerales mayoritarios y la textura general es maciza y lisa.

El grupo está compuesto por fragmentos con morfología irregular, de estructura compacta y sin presencia visible de material orgánico. Poseen pequeñas diferencias de color y textura, aunque sin llegar a constituir tipos diferenciados respecto a las características generales del grupo.

La Figura 4.13 muestra el aspecto que presentan los fragmentos analizados.

Figura 4.13 – Fragmentos de argamasa (grupo PR-III)



- Análisis textural

En el grupo se observa la presencia de mayoritaria de limo, seguido de arena de grano muy fino y fino (Gráfico 4.7). Los conglomerados poseen estructura heterogénea con características de áridos de machaqueo, de aspecto áspero, aristas vivas y sin impurezas visibles. Los áridos están mal distribuidos en la mayoría de las muestras, excepto en PR16 que las tiene de forma moderada. (Figura 4.14).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Gráfico 4.7 – Diámetro de áridos (mm) - PR111

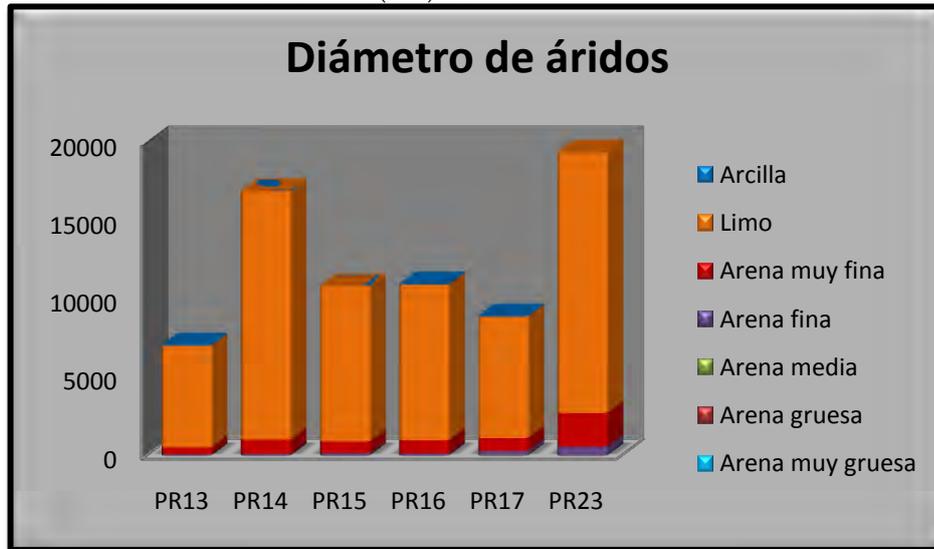
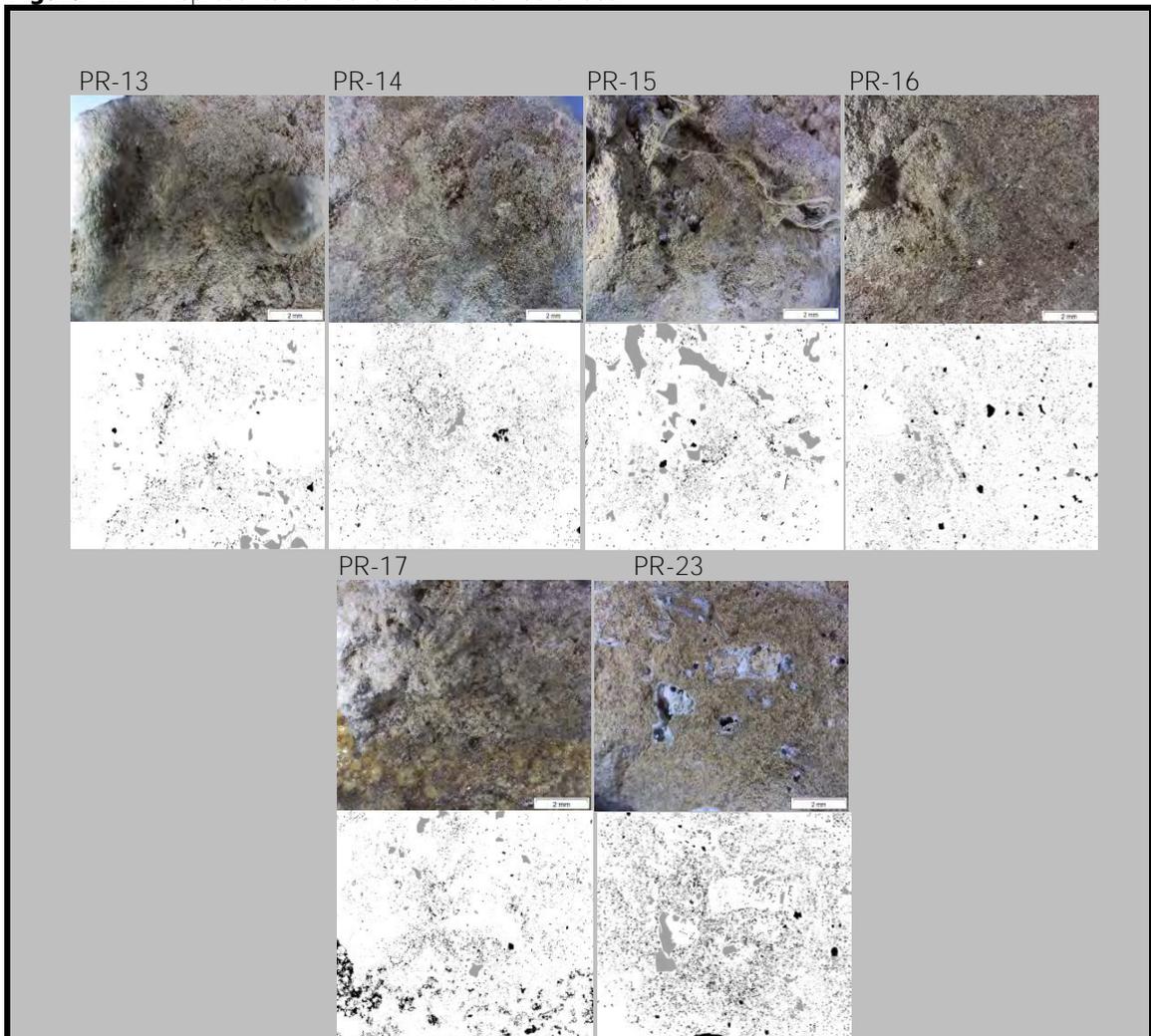


Figura 4.14 -Representación de la distribución de áridos



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Existe predominio de poros de tamaño muy fino, seguidos de finos (Gráfico 4.8). En cuanto a la abundancia, los poros son pocos en PR-13, PR-15, PR-16 y PR-17 y común en las muestras PR-14 y PR-23 (Tabla 4.14). En ese grupo no se encuentran perforaciones y ni moldes de restos vegetales. Los poros poseen la categoría preponderante de transmisión, seguido de la clase de enraizamiento y de canal (Gráfico 4.9). Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales, vesiculares, cavidades y canales, mostrando una posible utilización de elementos vegetales en la mezcla para la fabricación de las argamasas (Figura 4.14).

Gráfico 4.8 – Tamaño de poros (mm)

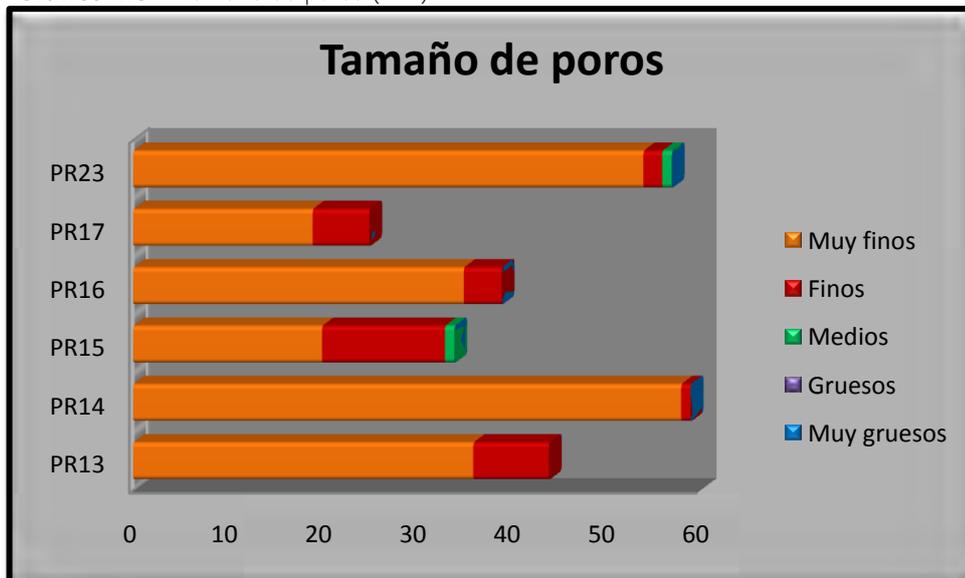
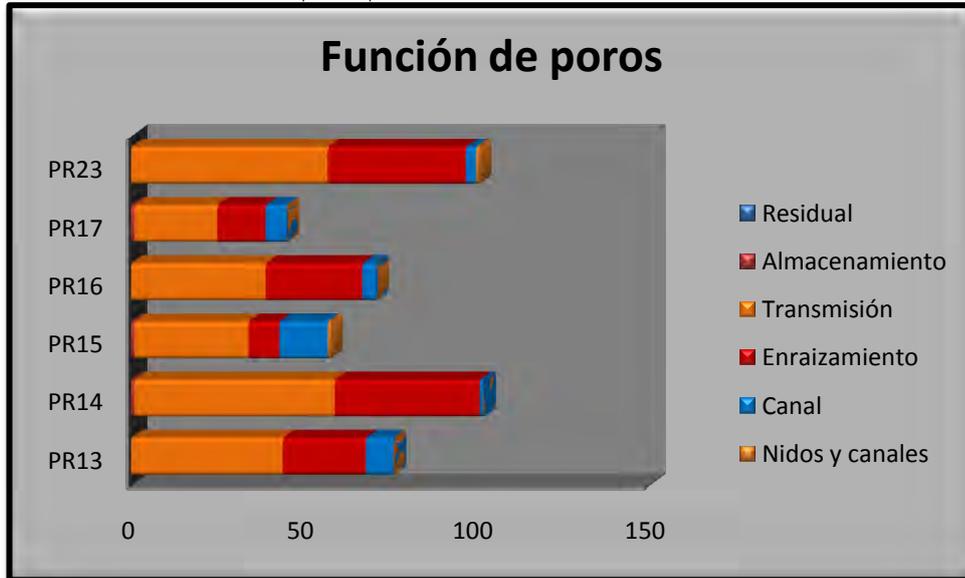


Tabla 4.14 – Número de poros por cm³ - PR111

Abundancia	Pocos (20-50)	Comunes (50-200)
PR13	44	-
PR14	-	59
PR15	34	-
PR16	39	-
PR17	25	-
PR23	-	57

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

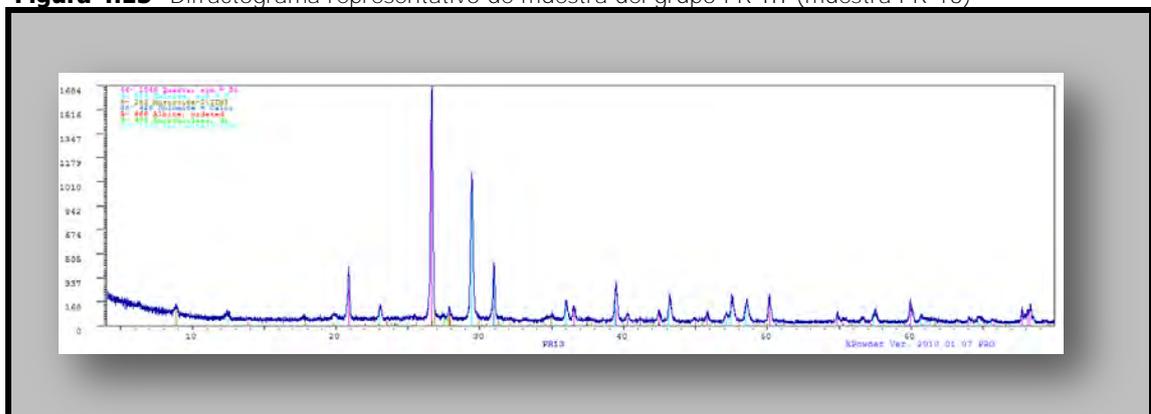
Gráfico 4.9 – Función de poros por cm^2 - PR-III



- Estudio mineralógico

El difractograma recogido en la Figura 4.15 es representativo de la mineralogía de este grupo.

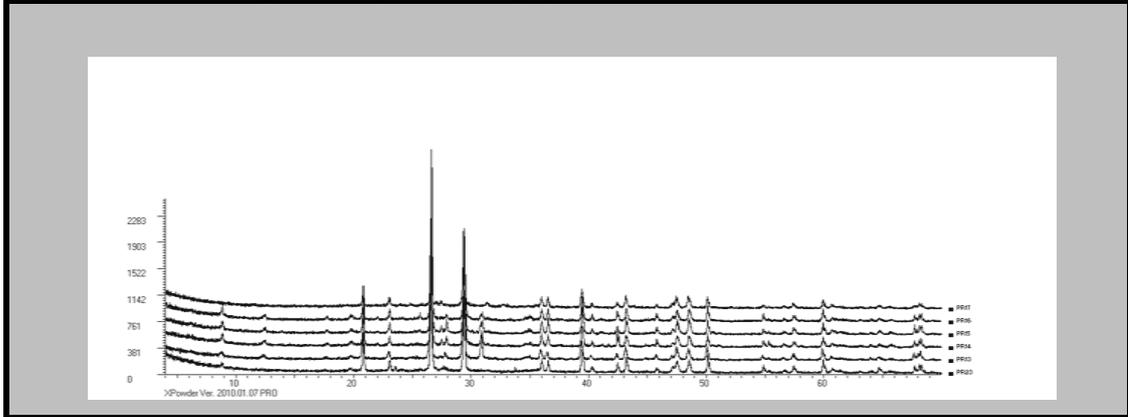
Figura 4.15 -Difractograma representativo de muestra del grupo PR-III (muestra PR-13)



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

La Figura 4.16 recoge los difractogramas comparados de las distintas muestras.

Figura 4.16 – Difractograma comparativo del grupo PR-III



Las muestras están constituidas por carbonatos (calcita y dolomita), filosilicatos (tipo moscovita / illita y caolinita) y tectosilicatos (cuarzo y feldespatos tipo anortoclasa, ortoclasa y albita). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15– Composición mineralógica de argamasas (%)

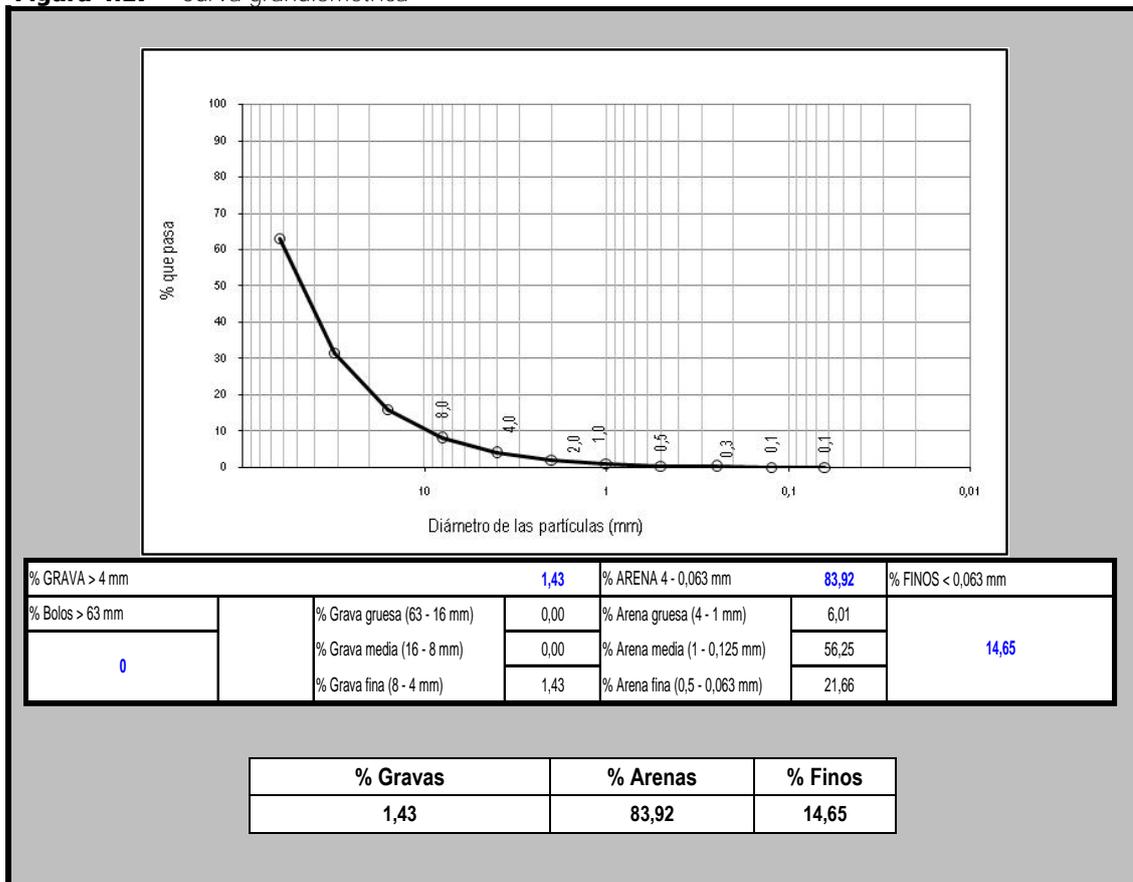
Muestras	PR13	PR14	PR15	PR16	PR17	PR23
Cuarzo	25	31	26	32	39	47
Calcita	32	24	28	27	50	38
Moscovita	07	25	25	26	00	09
Dolomita	20	09	09	07	00	00
Albita	03	04	05	05	00	06
Anortoclasa	08	04	04	00	00	00
Ortoclasa	00	00	00	00	11	00
Caolinita	05	03	03	03	00	00

- Ensayo granulométrico

Las muestras están compuestas por mayoría de arena media, seguida por arena fina (Figura 4.17).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.17 – Curva granulométrica



- Ensayo para determinación de límites de Atterberg

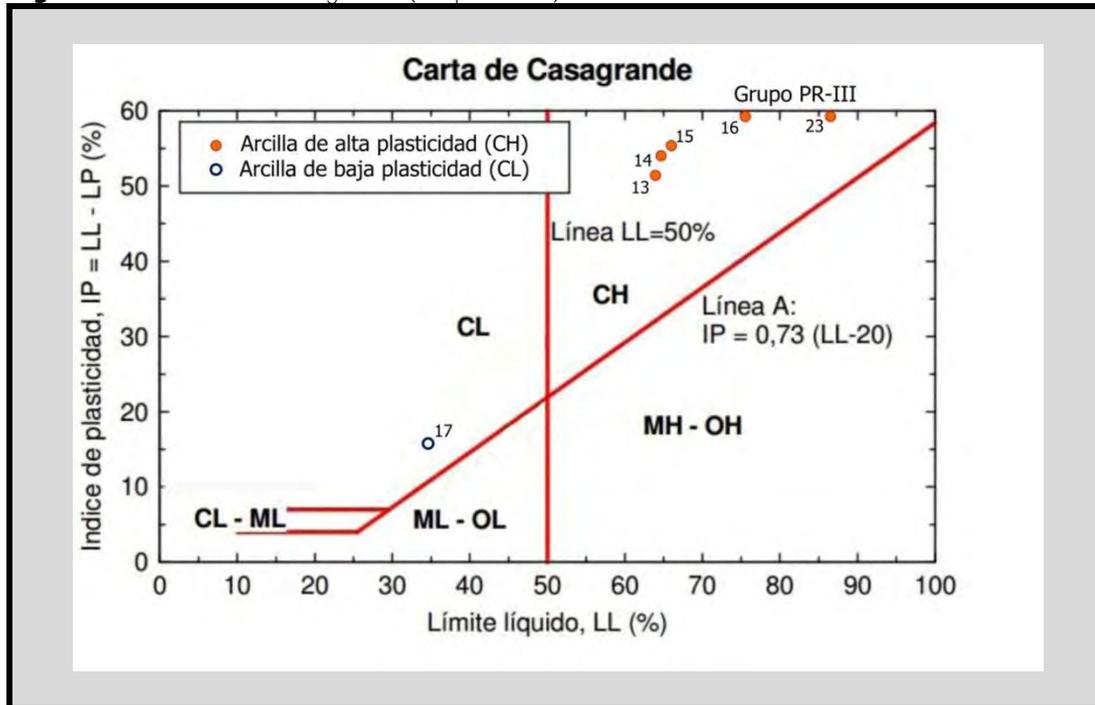
La tabla 4.16 y la Figura 4.18 recogen los índices de Atterberg de las muestras del grupo. Se puede ver el predominio de muestras clasificadas en arcilla de alta plasticidad (CH).

Tabla 4.16 - Límites de Atterberg

Muestra	Resultado del Ensayo			Clasificación
	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	
PR13	63.75	12.02	51.73	CH
PR14	64.35	10.02	54.33	CH
PR15	65.26	9.59	55.67	CH
PR16	76.87	12.29	64.58	CH
PR17	34.34	18.73	15.61	CL
PR23	87.21	13.95	73.26	CH

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.18 – Carta de Casagrande (Grupo PR-III)



- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo PR-III comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios la sílice (SiO_2 – 34 a 37,11 % en peso), la cal (CaO – 24 a 27,9 % en peso) y el aluminio (Al_2O_3 – 8,49 a 9,97 % en peso); mientras que los componentes minoritarios son compuestos de hierro (Fe_2O_3), óxido de magnesio (MgO – 1,9 a 3,6 % en peso), feldspatos ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), micas (óxidos de silicio y aluminio ligados a potasio, hierro y magnesio), compuestos dióxido de titanio (TiO_2), Óxido de fósforo (P_2O_5 – 0,09 a 0,59 % en peso) y óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 19,8 a 22,4 % en peso. Como elementos traza con concentración superior a 100 PPM se puede ver el estroncio (Sr), el bario (Ba), el zirconio (Zr), el cloro (Cl) y el cromo (Cr). Además de pequeñas cantidades de rubidio (Rb), níquel (Ni), galio (Ga), bromo (Br) y itrio (Y).

Las Tablas 4.17 y 4.18 representan la composición química del grupo.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.17 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
Muestras	%											
PR13	35,51	8,93	3,00	0,07	1,90	26,8	0,30	1,75	0,50	0,59	0,15	20,3
PR15	34,00	8,96	3,00	0,05	1,90	27,9	0,34	1,76	0,52	0,14	0,14	21,1
PR17	37,11	8,49	2,70	0,04	2,15	24,00	0,17	1,70	0,44	0,09	0,50	22,4
PR23	36,23	9,97	3,00	0,06	3,60	24,32	0,23	1,25	0,53	0,14	0,49	19,8

Tabla 4.18 - Composición química de los elementos traza

Composición química				
Muestras	PR13	PR15	PR17	PR23
Elementos	PPM			
S	611	567	2007	1984
Cl	78	91	202	98
Cr	104	96	109	56
Ni	30	31	33	32
Cu	58	54	47	57
Zn	87	58	54	66
Ga	10	9	7	9
Br	8	11	0	9
Rb	67	73	44	38
Sr	594	561	979	665
Y	19	0	0	0
Zr	309	307	286	298
Ba	346	303	323	618

Los índices de hidraulicidad del grupo están representados en la Tabla 4.19 que indican que las muestras del grupo tienen características de cemento rápido (CR)

Tabla 4.19 - Índice de hidraulicidad

Muestras	Índice de hidraulicidad	Clasificación
PR13	1,54	CR
PR15	1,44	CR
PR17	1,77	CR
PR23	1,67	CR

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

❖ Grupo PR-IV

Formado por 1 muestra de mortero tipo revestimiento de muro, este grupo se caracteriza por presentar cuarzo, calcita y moscovita como componentes minerales mayoritarios y la textura general es maciza y lisa.

El grupo está compuesto de fragmento con morfología irregular, de estructura compacta y sin presencia visible de material orgánico. No posee diferencias de color y textura.

La figura 4.19 muestra el aspecto que presenta el fragmento analizado.

Figura 4.19 – Fragmento de muro (grupo PR-IV)



- Análisis textural

En el grupo se observa la presencia de mayoritaria de limo (90%), seguido de arena de grano muy fino (10%). Los conglomerados poseen estructura heterogénea con características de áridos de machaqueo, de aspecto áspero, aristas vivas y sin impurezas visibles. Los áridos están mal distribuidos (Figura 4.20).

Figura 4.20 –Representación de la distribución de áridos



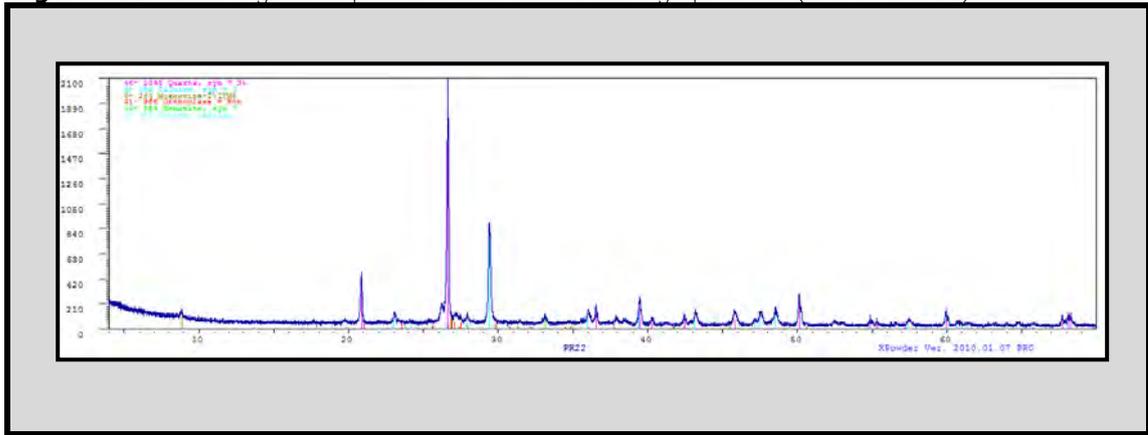
La totalidad de poros es de tamaño muy fino. En cuanto a la abundancia, los poros se clasifican en pocos (21 por cm^2). En ese grupo no se encuentran perforaciones y ni moldes de restos vegetales. Los poros poseen la categoría de transmisión en 100% del grupo, seguido de la clase de enraizamiento (86%). Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales, vesiculares. En ese caso no se puede certificar la utilización de elementos vegetales en la masa (Figura 4.20).

- Estudio mineralógico

El difractograma recogido en la Figura 4.21 es representativo de la mineralogía de este grupo.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.21 –Difractograma representativo de muestra del grupo PR-IV (muestra PR-22)



La muestra está constituida por carbonatos (calcita), filosilicatos (tipo moscovita / illita), tectosilicatos (cuarzo y feldespatos tipo ortoclasa y albita) y oxido (hematita). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.20.

Tabla 4.20 – Composición mineralógica de revestimiento (%)

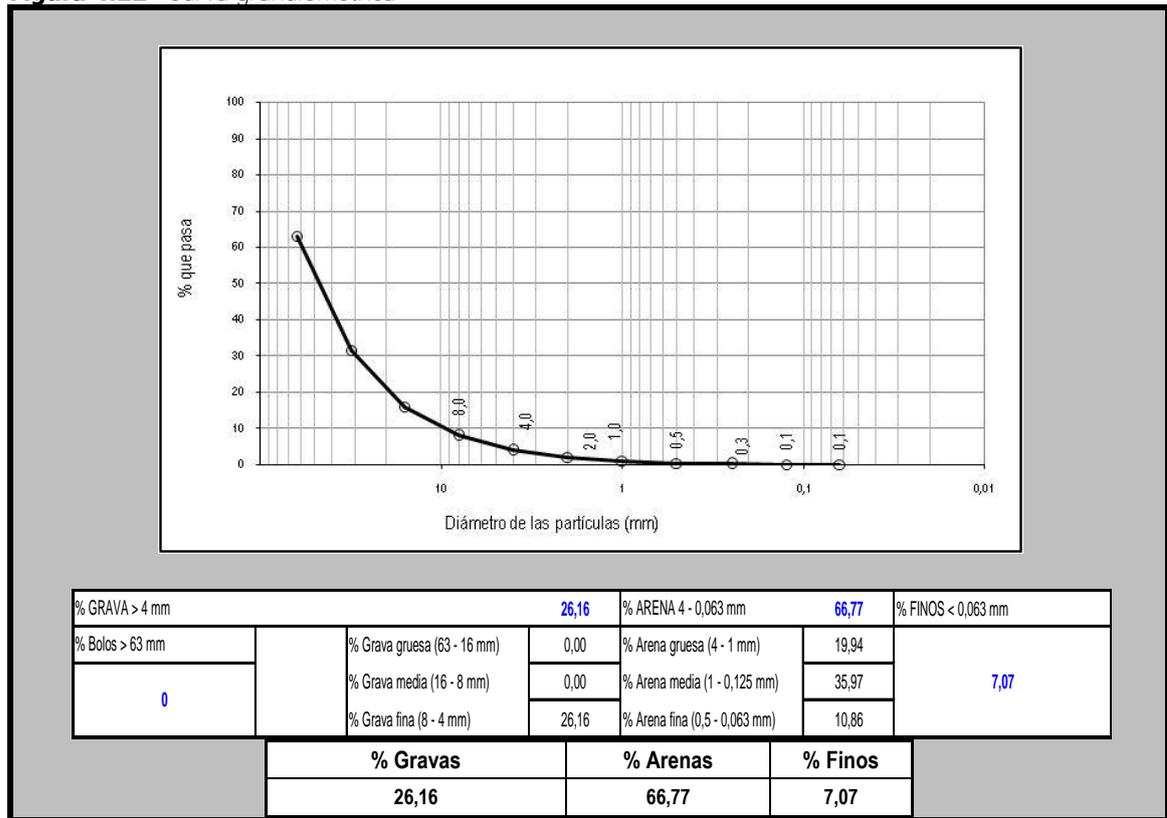
Muestra	PR22
Cuarzo	40
Calcita	30
Moscovita	11
Albita	08
Ortoclasa	08
Hematita	03

- Ensayo granulométrico

Las muestras están compuestas por mayoría de arena media, seguida por arena gruesa (Figura 4.22).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.22– Curva granulométrica



- Ensayo para determinación de límites de Atterberg

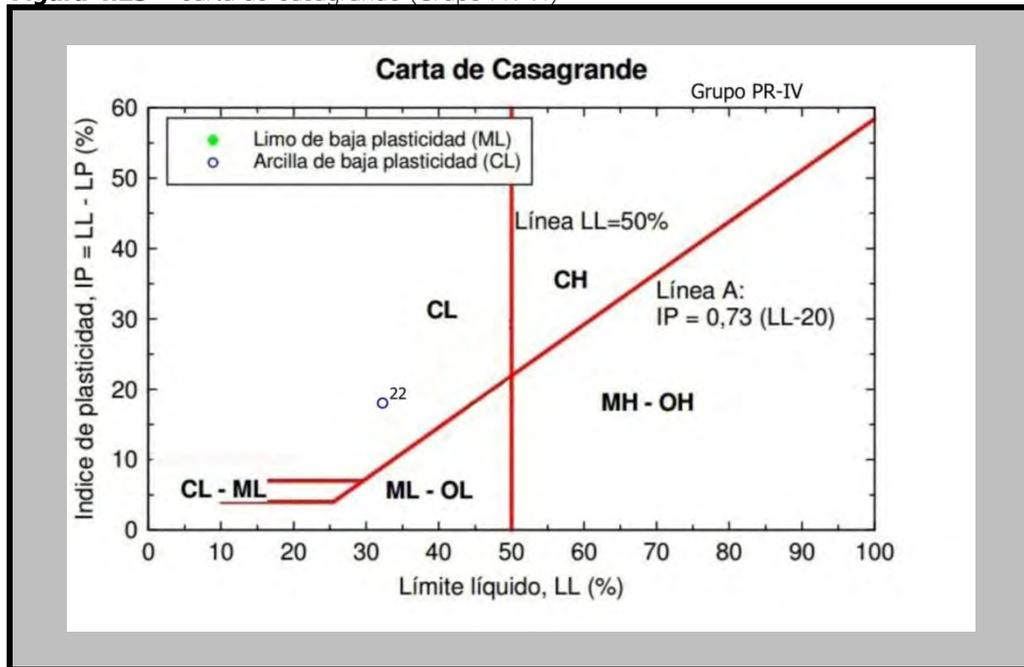
La Tabla 4.21 y la Figura 4.23 recogen los índices de Atterberg de las muestras del grupo. Se puede ver que la muestra está clasificada en arcilla de baja plasticidad (CL).

Tabla 4.21- Límites de Atterberg

Resultado del Ensayo				
Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Clasificación
PR22	31.72	18.7	13.02	CL

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.23 – Carta de Casagrande (Grupo PR-VI)



- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo PR-IV comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios la sílice (SiO_2 -33,4 % en peso), la cal (CaO – 30 % en peso) y el aluminio (Al_2O_3 – 8 % en peso) y en menor porcentaje compuestos de hierro (Fe_2O_3), óxido de magnesio (MgO), feldspatos ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), micas (óxidos de silicio y aluminio ligados a potasio, hierro y magnesio), compuestos dióxido de titanio (TiO_2), Óxido de fósforo (P_2O_5) y óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 20,3 % en peso. Como elementos traza con concentración superior a 100 PPM se puede ver el estroncio (Sr), el bario (Ba), el cloro (Cl), el zirconio (Zr) y el cromo (Cr). Además de pequeñas cantidades de zinc (Zn), cobre (Cu), rubidio (Rb), níquel (Ni) y galio (Ga).

Las Tablas 4.22 y 4.23 representan la composición química del grupo.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.22 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
Muestras	%											
PR22	33,40	8,00	3,00	0,06	1,40	30,00	0,30	1,90	0,50	0,10	0,14	20,3

Tabla 4.23 - Composición química de los elementos traza

Composição química	
Muestras	PR22
Elementos	PPM
S	552
Cl	413
Cr	101
Ni	37
Cu	72
Zn	73
Ga	9
Rb	55
Sr	1797
Zr	354
Ba	751

Los índices de hidraulicidad del grupo están representados en la Tabla 4.24 que indican que las muestras del grupo tienen características de cemento rápido (CR)

Tabla 4.24 - Índice de hidraulicidad

Muestras	Índice de hidraulicidad	Clasificación
PR22	1,32	CR

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

❖ Grupo PR-V

Formado por 1 muestra de mortero tipo soporte, este grupo se caracteriza por presentar calcita, moscovita y cuarzo como componentes minerales mayoritarios y la textura general es maciza y lisa.

El grupo está compuesto de fragmento con morfología irregular, de estructura compacta y sin presencia visible de material orgánico. No posee diferencias de color y de textura.

La figura 4.24 muestra el aspecto que presenta el fragmento analizado.

Figura 4.24 – Fragmento de muro (grupo PR-V)

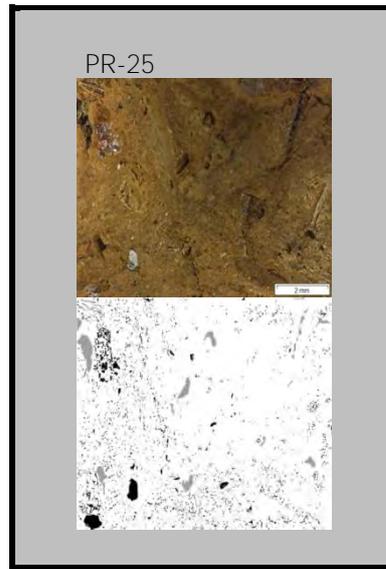


- Análisis textural

En el grupo se observa la presencia de mayoritaria de limo (68%), seguido de arena de grano muy fino (25%), fino (6%) y medio (1%). Los conglomerados poseen estructura heterogénea con características de áridos de machaqueo, de aspecto áspero, aristas vivas y sin impurezas visibles. Los áridos están mal distribuidos. (Figura 4.25).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.25 -Representación de la distribución de áridos



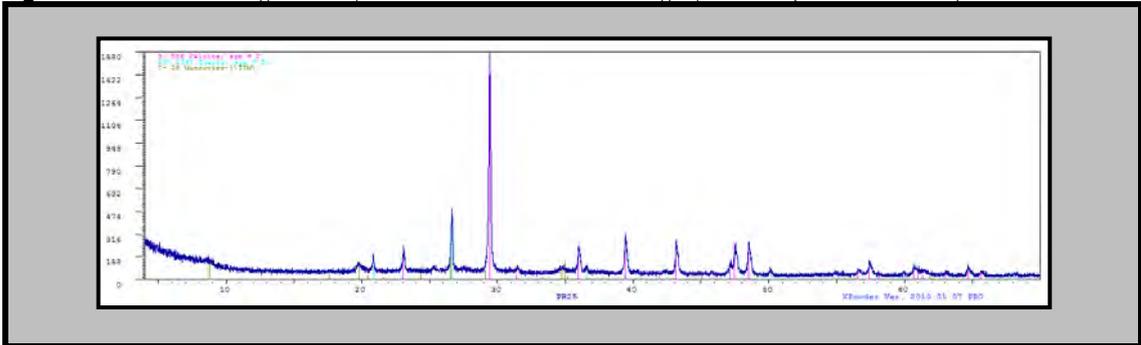
Existe predominio de poros de tamaño muy fino (79%), seguidos de finos (21%). Cuanto a la abundancia, los poros se clasifican en pocos (48 por cm^2). En ese grupo no se encuentran perforaciones ni moldes que caractericen restos vegetales. Los poros poseen la categoría de transmisión en 100% del grupo, seguido de la clase de enraizamiento (48%) y de canal (21%). Cuanto a la clasificación se observan poros intersticiales, vesiculares, cavidades y canales, mostrando una posible utilización de elementos vegetales en la mezcla para la fabricación de la masa (Figura 4.25).

- Estudio mineralógico

El difractograma recogido en la Figura 4.26 es representativo de la mineralogía de este grupo.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.26 – Difractograma representativo de muestra del grupo PR-V (muestra PR-25)



La muestra está constituida por carbonatos (calcita), filosilicatos (tipo moscovita / illita), tectosilicatos (cuarzo).

Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.25.

Tabla 4.25 – Composición mineralógica de soporte (%)

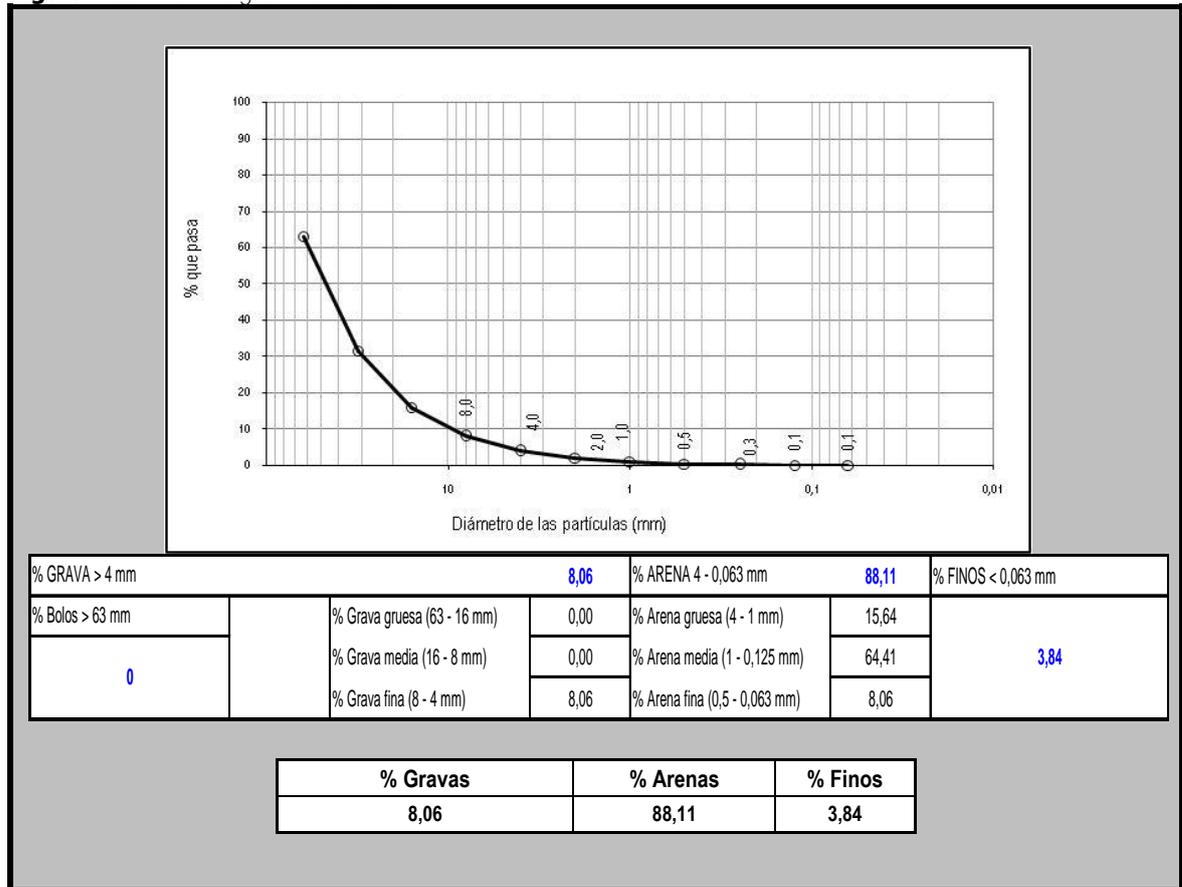
Muestra	PR25
Cuarzo	12
Calcita	72
Moscovita	16

- Ensayo granulométrico

Las muestras están compuestas por mayoría de arena media, seguida por arena gruesa (Figura 4.27).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.27 - Curva granulométrica



La muestra PR-25 no tenía una cantidad mínima para los ensayos de límites de Atterberg y la fluorescencia de rayos X.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

4.2 Yacimiento de Turó del Calvari

En este yacimiento se han estudiado 14 muestras de mortero, siendo 9 de estuco y 5 de revestimiento. Se trata de fragmentos con dimensiones entre 2 y 14 cm y tonalidades que van de rosáceo a marrón claro (Tabla 4.26).

Tabla 4.26 – Coordenadas cromáticas de Turó del Calvari

Muestra	Munsell	Colorimetría		
		L	a	b
TC-1	7.5YR 7/3 PINK	66,59	7,10	21,27
TC-2	7.5YR 7/3 PINK	74,55	8,43	24,07
TC-3	5YR 7/4 PINK	66,27	11,28	24,42
TC-4	7.5YR 7/6 REDDISH YELLOW	68,50	11,69	27,66
TC-5	7.5YR 8/3 PINK	59,71	7,56	19,41
TC-6	7.5YR 8/3 PINK	58,51	6,86	17,36
TC-7	10YR 7/3 VERY PALE BROWN	56,55	10,29	21,13
TC-8	7.5YR 8/3 PINK	62,25	7,98	16,23
TC-9	7.5YR 8/3 PINK	59,89	9,21	15,12
TC-10	7.5YR 8/3 PINK	65,73	7,28	17,34
TC-11	10YR 8/3 VERY PALE BROWN	54,15	11,78	19,56
TC-12	7.5YR 7/3 PINK	64,50	8,36	22,04
TC-13	7.5YR 7/3 PINK	60,63	7,17	20,03
TC-14	5YR 7/4 PINK	67,12	12,51	23,89

En base a su naturaleza, composición mineralógica y características texturales, se diferencian dos grupos de muestras que son los siguientes:

❖ Grupo TC-I

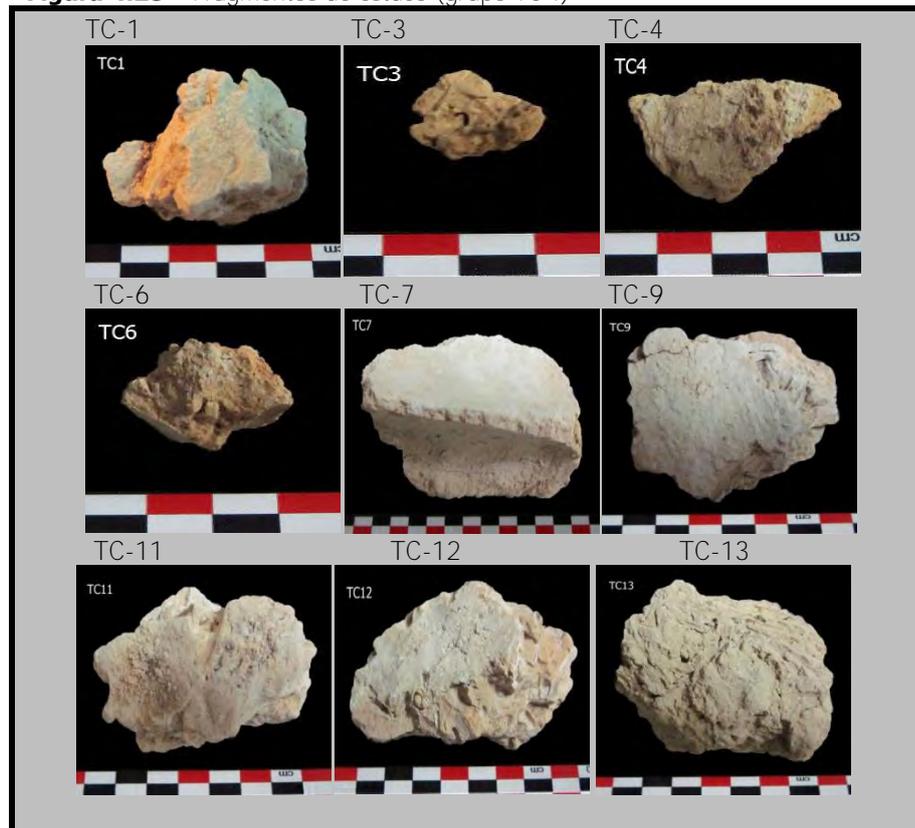
Formado por 9 muestras de mortero del tipo estuco, este grupo se caracteriza por presentar calcita, moscovita y cuarzo como componentes minerales mayoritarios y textura general porosa y granular.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

El grupo está compuesto por fragmentos con morfología irregular, de estructura compacta y sin presencia visible de material orgánico. Poseen pequeñas diferencias de color y textura, aunque sin llegar a constituir tipos diferenciados respecto a las características generales del grupo.

La Figura 4.28 muestra el aspecto que presentan los fragmentos analizados.

Figura 4.28 – Fragmentos de estuco (grupo TC-I)



- Análisis textural

En el grupo se observa la presencia de mayoritaria de limo, seguido de arena de grano muy fino y fino (Gráfico 4.10). Los conglomerados poseen estructura heterogénea con características de áridos de machaqueo, de aspecto áspero, aristas vivas y sin impurezas visibles. Los áridos tienen distribución moderada en TC-1, TC-6 y TC-13, mal distribuidos TC-4, TC-7 y TC-9 y muy mal distribuidos en TC-3, TC-11 y TC-12 (Figura 4.29).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Gráfico 4.10 – Diámetro de áridos (mm) - TCI

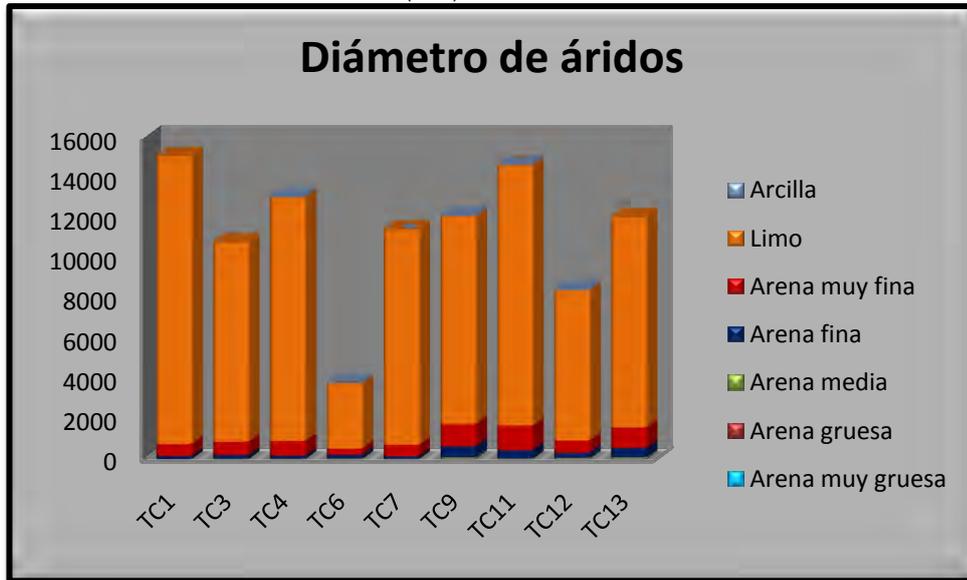
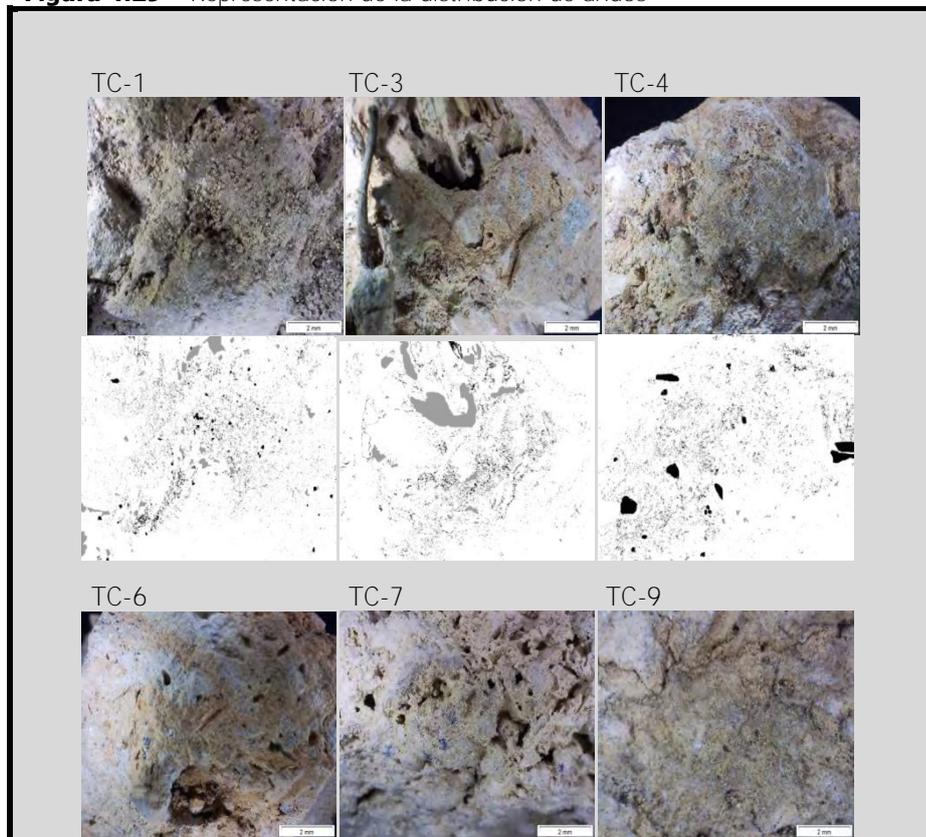
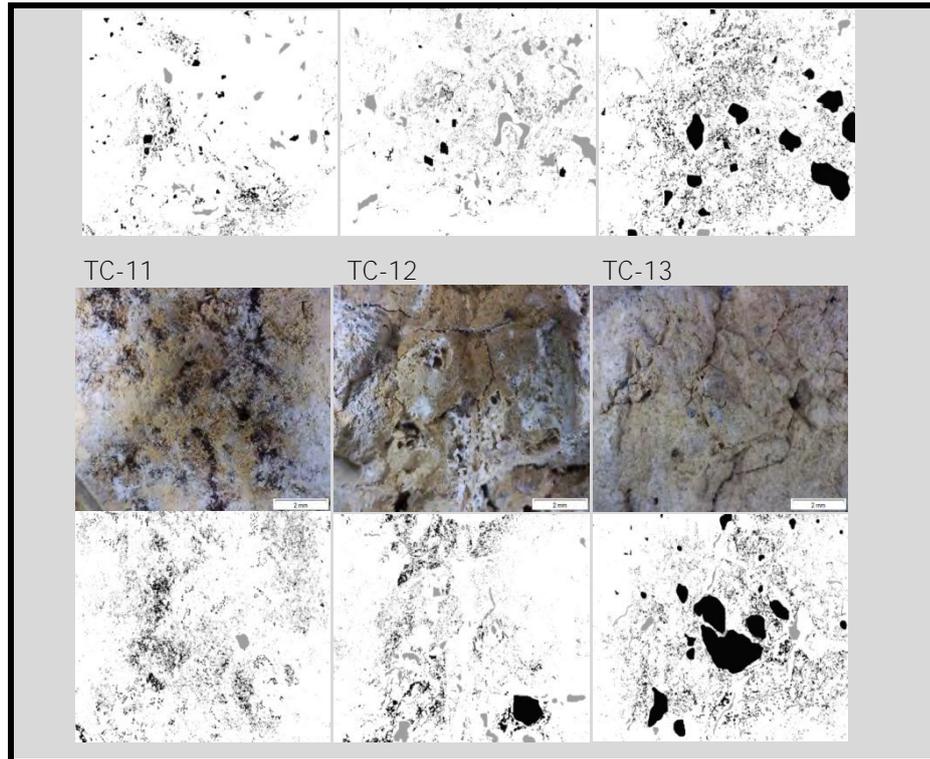


Figura 4.29 – Representación de la distribución de áridos



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra



Existe predominio de poros de tamaño muy fino, seguidos de finos (Gráfico 4.11). En cuanto a la abundancia, los poros son muy poco en TC-4, TC-9 y TC-11, pocos en la muestras TC-3, TC-6 TC-12 y TC-13 y común en TC-1 y TC-7 (Tabla 4.27). En ese grupo se encuentran abundantes perforaciones y moldes de posibles restos vegetales, que están dispuestos de modo aleatorio y tienen tamaños pequeños y medios. Los poros poseen la categoría preponderante de transmisión, seguido de la clase de enraizamiento y de canal (Gráfico 4.12). Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales, vesiculares, cavidades y canales, mostrando una probable utilización de elementos vegetales en la mezcla para la fabricación de los estucos (Figura 4.29).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Gráfico 4.11 – Tamaños de poros (mm)

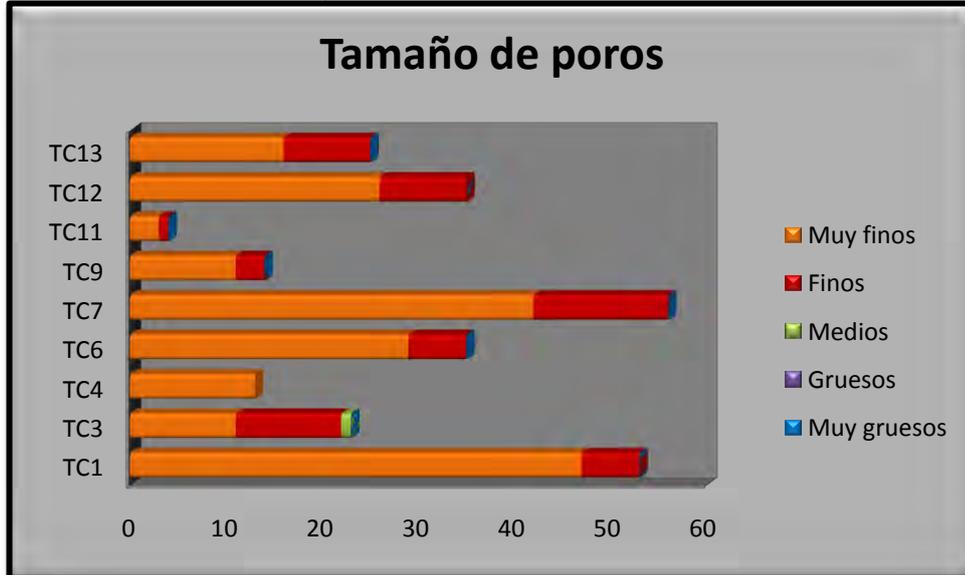
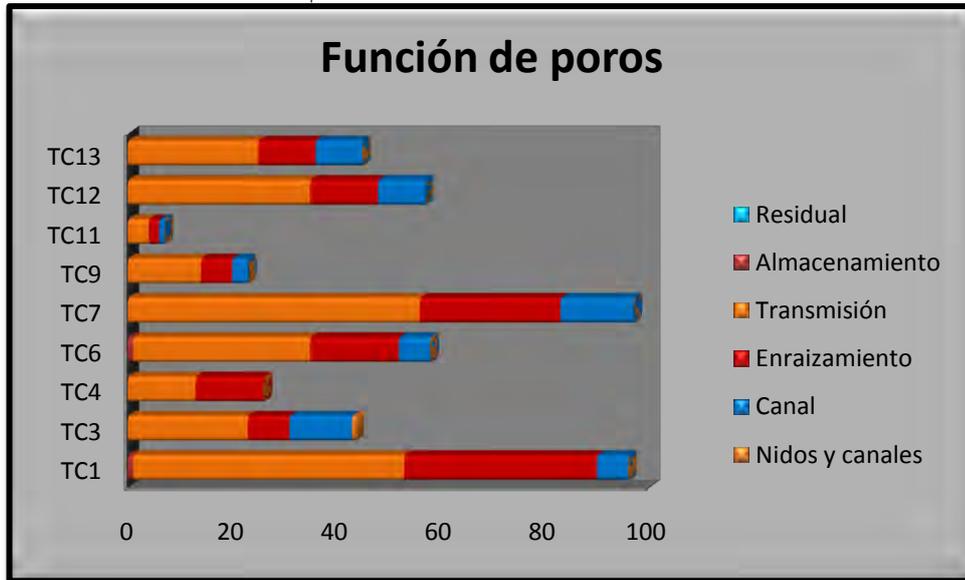


Tabla 4.27 – Número de poros por cm² - TCI

Abundancia	Muy pocos (1-20)	Pocos (20-50)	Comunes (50-200)
TC1	-	-	53
TC3	-	23	-
TC4	13	-	-
TC6	-	35	-
TC7	-	-	56
TC9	14	-	-
TC11	4	-	-
TC12	-	35	-
TC13	-	25	-

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

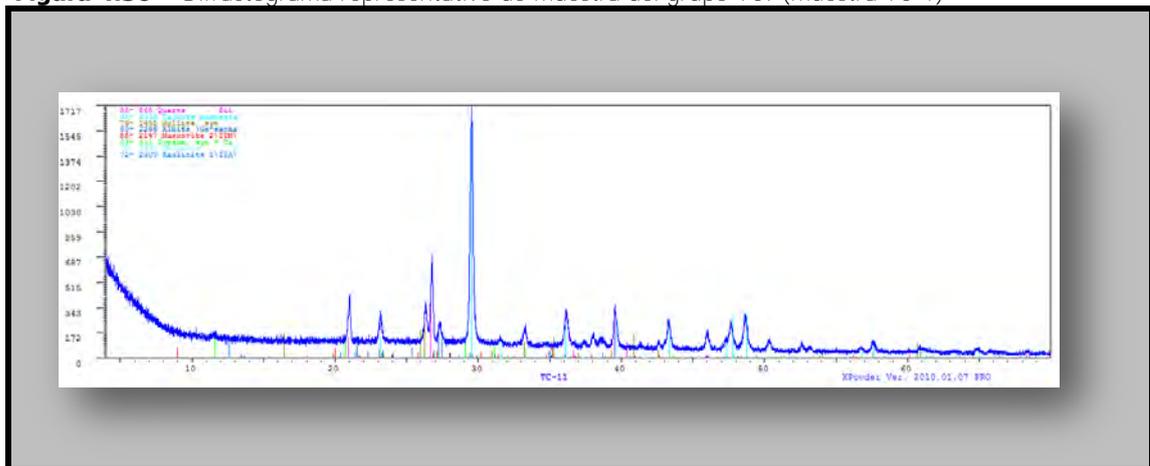
Gráfico 4.12– Función de poros



- Estudio mineralógico

El difractograma recogido en la Figura 4.30 es representativo de la mineralogía de este grupo.

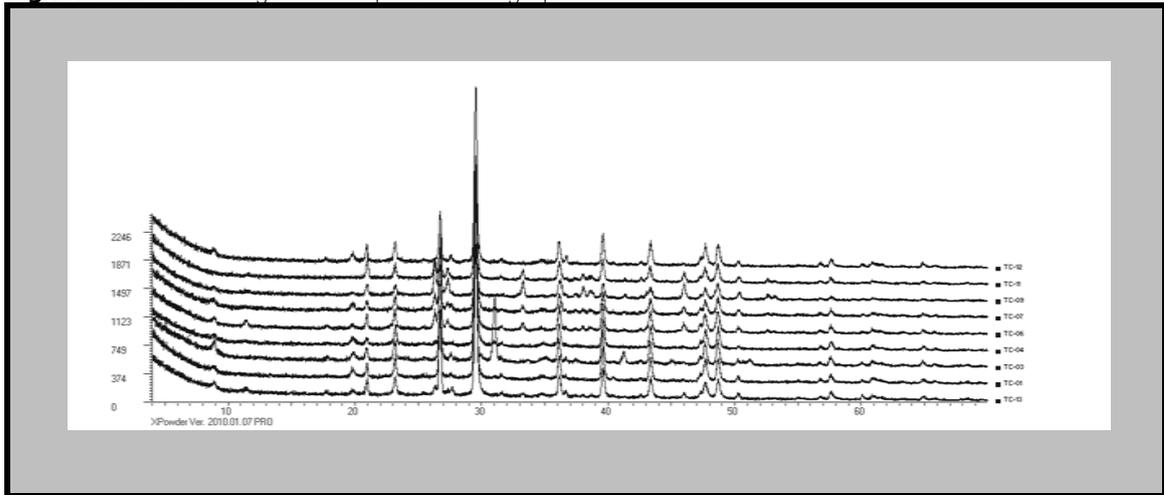
Figura 4.30 – Difractograma representativo de muestra del grupo TCI (muestra TC-1)



La Figura 4.31 recoge los difractogramas comparados de las distintas muestras.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.31 – Difractograma comparativo del grupo TC-I



Las muestras están constituidas por carbonatos (calcita y dolomita), filosilicatos (tipo moscovita / illita y caolinita), tectosilicatos (cuarzo y feldespatos tipo ortoclasa, anortoclasa y albita), nesosilicato (mullita), sulfato (yeso) y óxido (hematita). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.28.

Tabla 4.28 – Composición mineralógica de estucos (%)

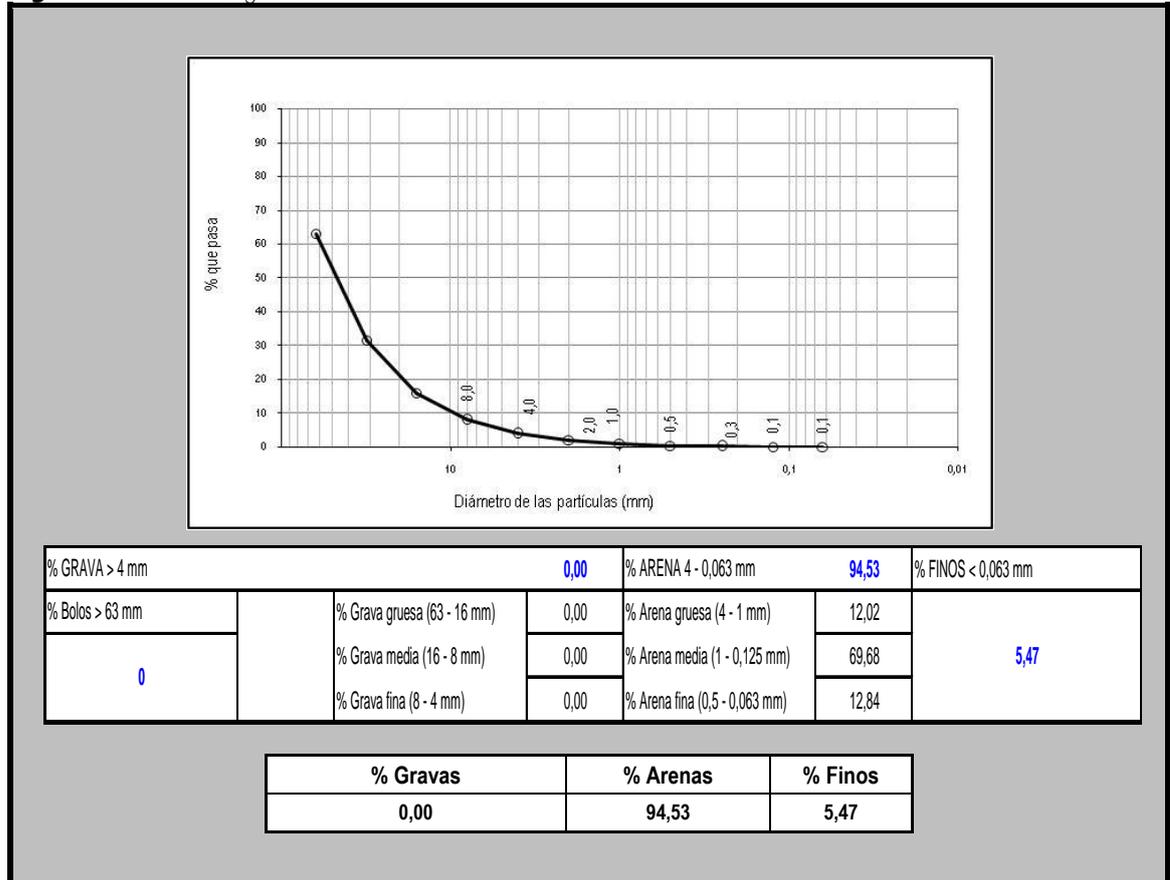
Muestras	TC1	TC3	TC4	TC6	TC7	TC9	TC11	TC12	TC13
Cuarzo	20	13	17	12	16	11	14	18	25
Calcita	41	28	60	27	29	16	28	42	35
Moscovita	35	31	17	29	14	29	12	37	15
Dolomita	04	13	06	02	03	00	03	03	03
Albita	00	00	00	00	11	11	11	00	18
Ortoclasa	00	00	00	13	00	00	00	00	00
Anortoclasa	00	15	00	00	00	00	00	00	00
Caolinita	00	00	00	00	08	05	07	00	00
Hematita	00	00	00	00	00	03	00	00	00
Yeso	00	00	00	03	00	00	04	00	04
Mullita	00	00	00	14	19	25	21	00	00

- Ensayo granulométrico

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Las muestras están compuestas por mayoría de arena media, seguida arena fina (Figura 4.32).

Figura 4.32 – Curva granulométrica



- Ensayo para determinación de límites de Atterberg

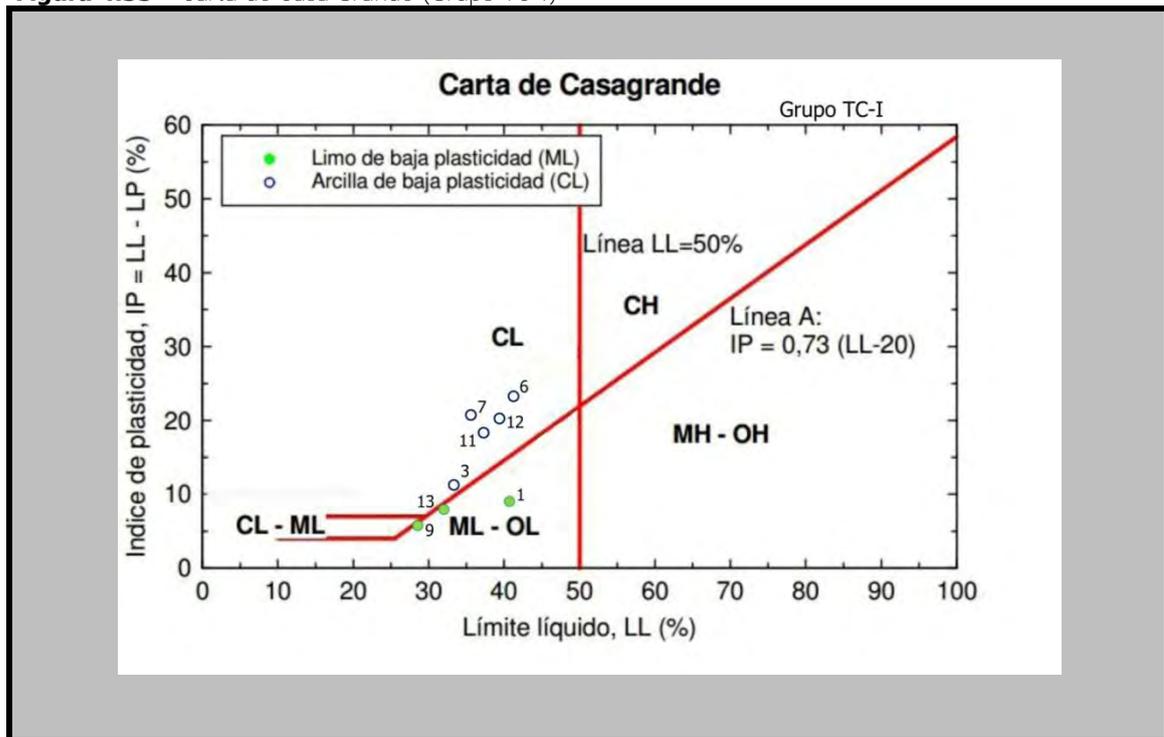
La Tabla 4.29 y la Figura 4.33 recogen los índices de Atterberg de las muestras del grupo. Se puede ver la predominancia de muestras clasificadas en arcilla de baja plasticidad (CL) en comparación con las de limo de baja plasticidad (ML)

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.29 – Límites de Atterberg

Resultado del ensayo				
Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Clasificación
TC1	40.19	31.33	8.86	ML
TC3	33.65	21.72	11.93	CL
TC4	00	00	00	Nula
TC6	41.38	17.79	23.59	CL
TC7	35.33	14.72	20.61	CL
TC9	27.34	21.91	5.43	ML
TC11	36.32	17.82		CL
TC12	39.57	19.36	20.21	CL
TC13	32.37	24.89	7.48	ML

Figura 4.33 – Carta de Casa Grande (Grupo TC-I)



- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo TC-I comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios la cal (CaO - 32,83 a 36,95 % en peso), la sílice (SiO_2 - 16,66 a 19,87 % en

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

peso) y el aluminio (Al_2O_3 – 6,13 a 9,16 % en peso); mientras que los componentes minoritarios son compuestos de hierro (Fe_2O_3 – 2,13 a 3,31 % en peso), el óxido de magnesio (MgO – 2,4 a 2,84 % en peso), feldspatos ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), micas, compuestos de dióxido de titanio (TiO_2), óxido de fósforo (P_2O_5) y óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 29,5 a 34,8 % en peso. Como elementos traza con concentración superior a 100 PPM se puede ver el estroncio (Sr), el bario (Ba) y Cobre (Cu). Además de pequeñas cantidades de rubidio (Rb), zirconio (Zr), zinc (Zn), cromo (Cr), cloro (Cl), níquel (Ni), galio (Ga) y niobio (Nb).

Las Tablas 4.30 y 4.31 representan la composición química del grupo.

Tabla 4.30 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	SO_3	LOI
Muestras	%											
TC7	19,87	9,16	3,31	0,03	2,40	32,83	0,16	2,00	0,37	0,09	0,12	29,5
TC9	16,66	6,85	2,36	0,03	2,57	36,95	0,15	1,22	0,32	0,09	0,12	32,5
TC11	17,3	6,13	2,13	0,03	2,84	35,55	0,10	0,51	0,28	0,10	0,13	34,8
TC13	18,04	6,95	2,41	0,03	2,79	36,39	0,10	1,50	0,32	0,07	0,12	31,2

Tabla 4.31 - Composición química de los elementos traza

Composición química				
Muestras	TC7	TC9	TC11	TC13
Elementos	PPM			
S	461	470	519	491
Cl	81	73	54	66
Cr	95	52	44	56
Ni	37	30	24	23
Cu	110	98	84	103
Zn	84	78	59	65
Ga	17	7	7	11
Br	8	10	9	7
Rb	87	76	37	64

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Sr	488	451	423	437
Zr	84	90	83	88
Nb	0	13	0	0
Ba	285	135	168	181

Los índices de hidraulicidad del grupo están representados en la Tabla 4.32 que indican que las muestras del grupo tienen características tanto de cemento rápido (CR) como de cemento lento (CL).

Tabla 4.32 - Índice de hidraulicidad

Muestras	Índice de hidraulicidad	Clasificación
TC7	0,86	CR
TC9	0,63	CL
TC11	0,65	CL
TC13	0,67	CR

❖ Grupo TC-II

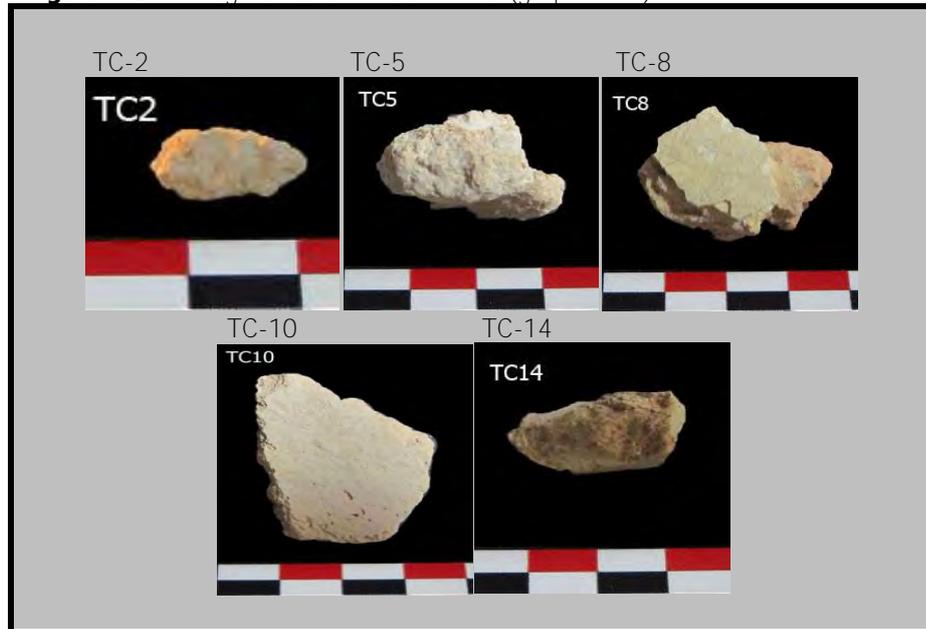
Formado por 5 muestras de mortero tipo revestimiento, este grupo se caracteriza por presentar calcita, cuarzo y moscovita como componentes minerales mayoritarios y la textura general es maciza y lisa.

El grupo está compuesto de fragmentos con morfología irregular, de estructura compacta y sin presencia visible de material orgánico. No poseen diferencias de color y textura.

La Figura 4.34 muestra el aspecto que presentan los fragmentos analizados.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

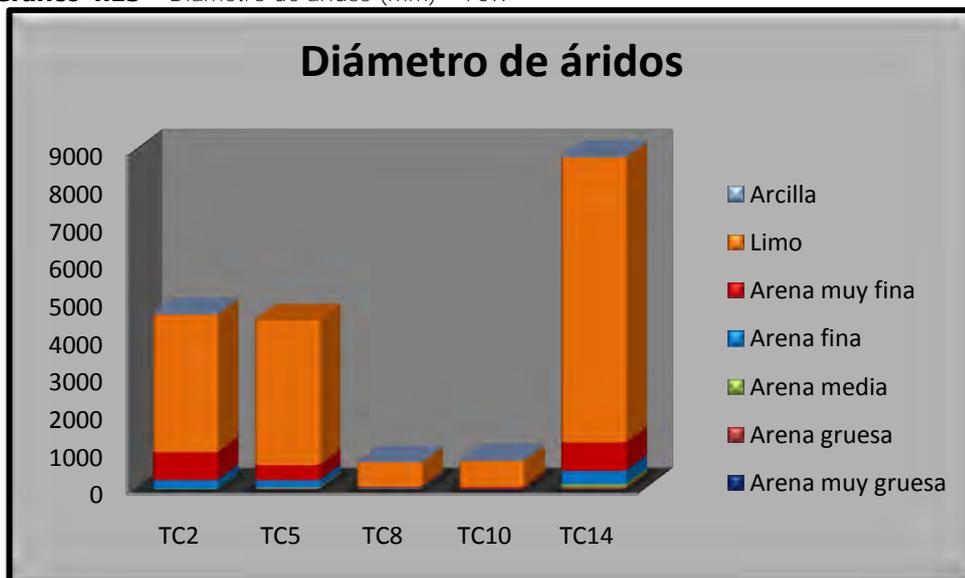
Figura 4.34 – Fragmentos de revestimiento (grupo TC-II)



- Análisis textural

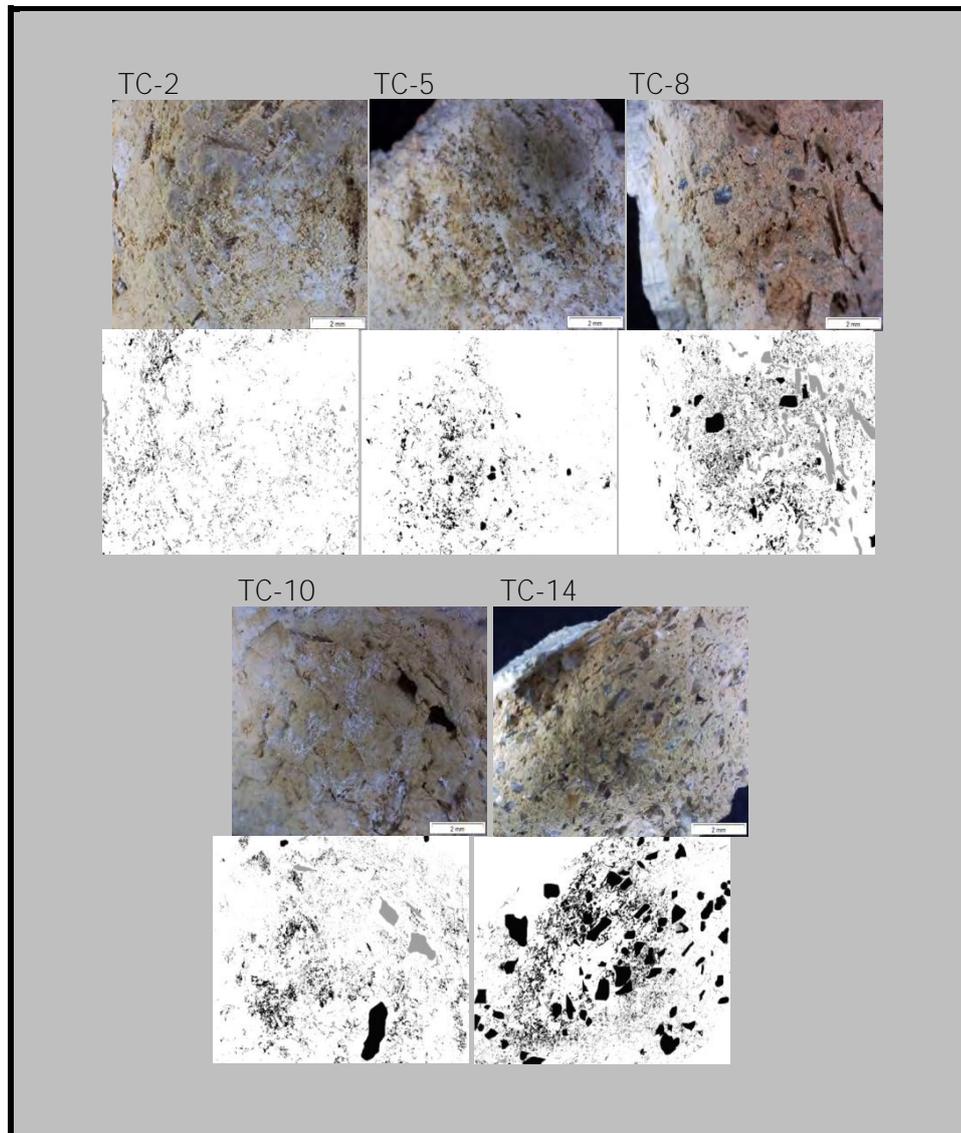
En el grupo se observa la presencia de mayoritaria de limo, seguido de arena de grano muy fino y fino (Gráfico 4.13). Los conglomerados poseen estructura heterogénea con características de áridos de machaqueo, de aspecto áspero, aristas vivas y sin impurezas visibles. Los áridos están bien distribuidos en TC14, mal distribuidos en los demás (Figura 4.35).

Gráfico 4.13 – Diámetro de áridos (mm) - TCII



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.35 – Representación de la distribución de áridos



Existe predominio de poros de tamaño muy fino, seguidos de finos (Gráfico 14). En cuanto a la abundancia, no se encuentran poros en TC-5, muy pocos en TC-10 y TC-14, pocos en TC-2 y TC-8 (Tabla 4.33). En ese grupo no se encuentran perforaciones y ni moldes de restos vegetales. Los poros poseen la categoría preponderante de transmisión, seguido de la clase de enraizamiento y de canal (Gráfico 4.15). Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales, vesiculares y planos. En ese caso no se puede certificar la utilización de elementos vegetales en la masa (Figura 4.41).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Gráfico 4.14 – Tamaño de poros (mm)

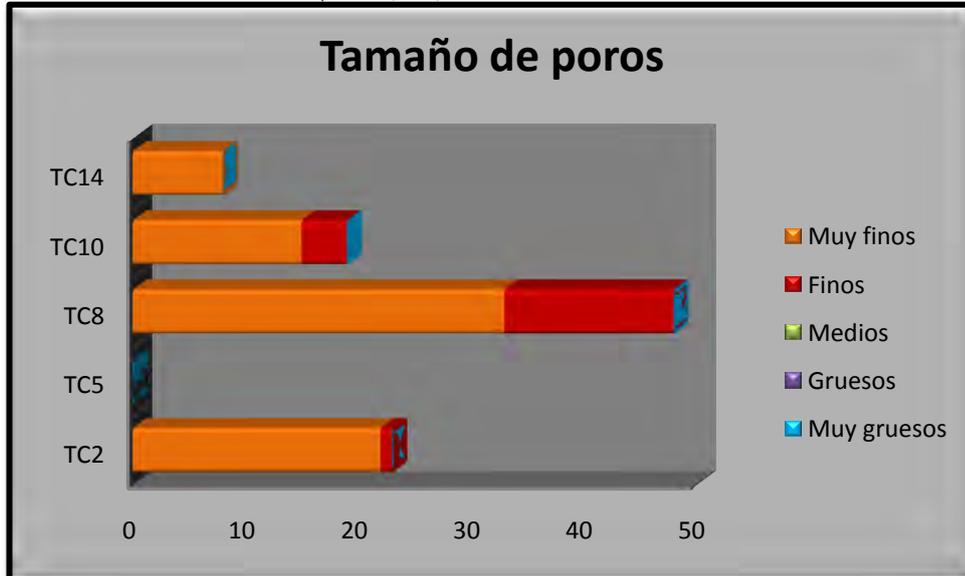
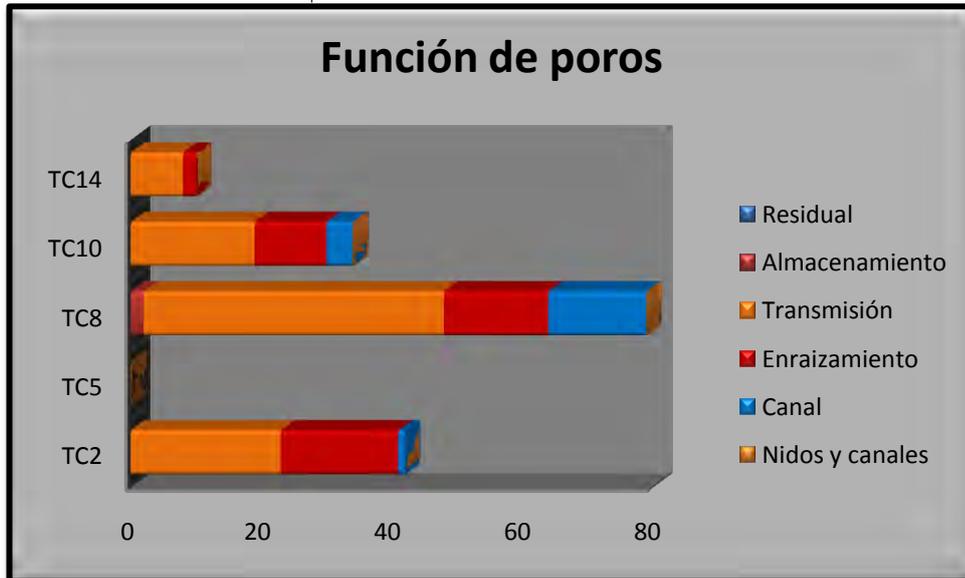


Tabla 4.33 – Número de poros por cm² - TCII

Abundancia	Muy pocos (1 - 20)	Pocos (20-50)
TC2	-	23
TC5	-	-
TC8	-	48
TC10	19	-
TC14	8	-

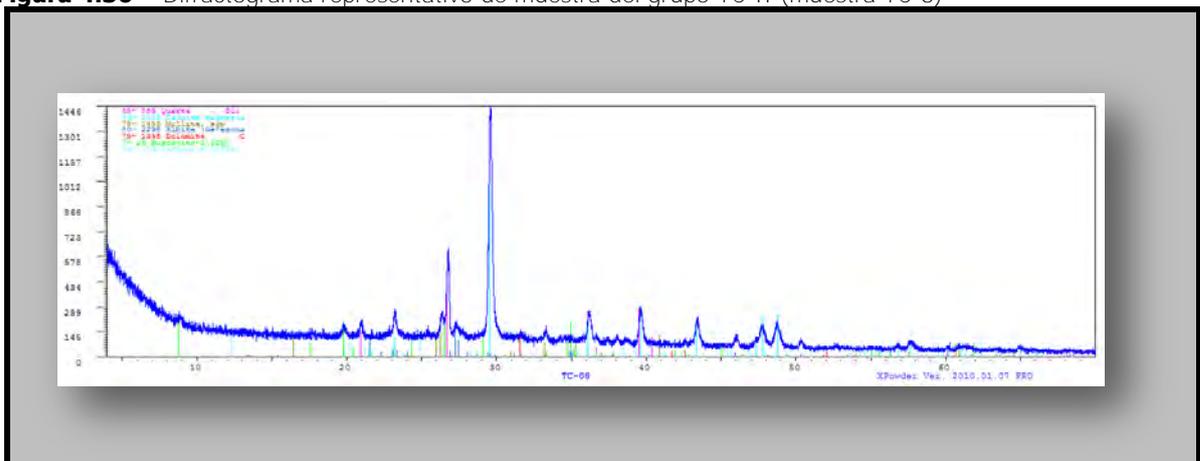
Gráfico 4.15 – Función de poros



- **Estudio mineralógico**

El difractograma recogido en la Figura 4.36 es representativo de la mineralogía de este grupo.

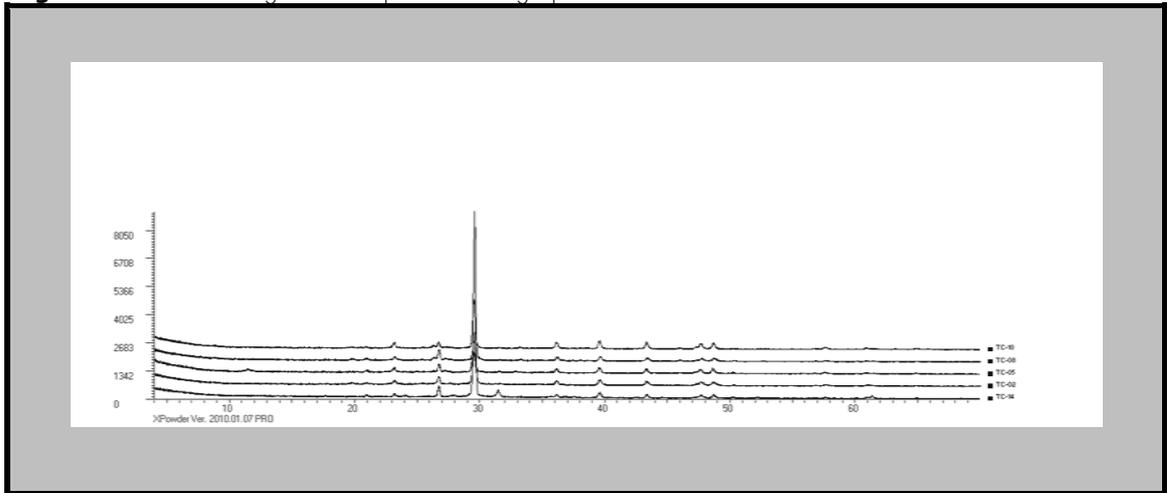
Figura 4.36 – Difractograma representativo de muestra del grupo TC-II (muestra TC-8)



La Figura 4.37 recoge los difractogramas comparados de las distintas muestras.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.37 – Difractograma comparativo del grupo TC-II



Las muestras están constituidas por carbonatos (calcita y dolomita), filosilicatos (tipo moscovita / illita y caolinita), tectosilicatos (cuarzo y feldespatos tipo albita), nesosilicato (mullita) y sulfato (yeso). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.34.

Tabla 4.34 – Composición mineralógica de revestimiento (%)

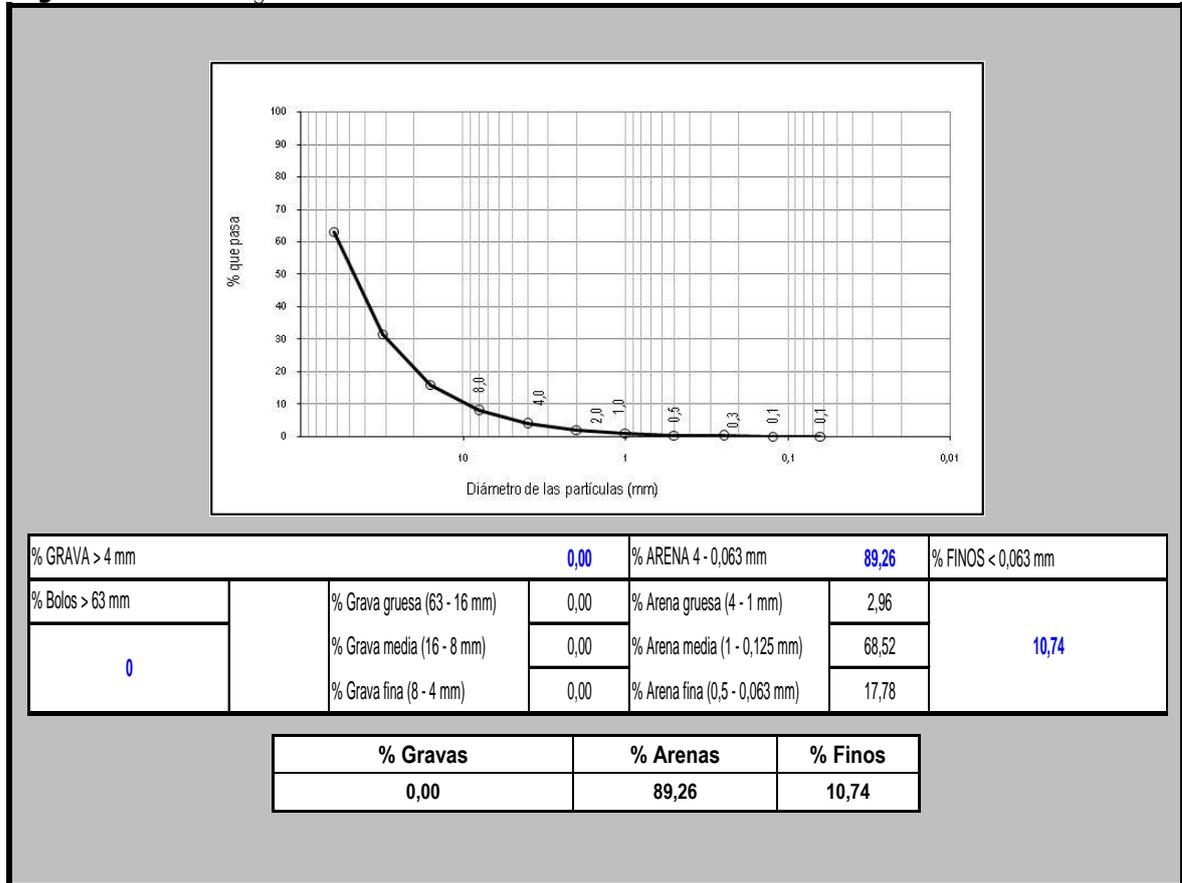
Muestras	TC2	TC5	TC8	TC10	TC14
Cuarzo	17	15	16	09	10
Calcita	39	41	28	39	76
Moscovita	44	17	14	18	09
Dolomita	00	05	04	03	05
Albita	00	15	12	08	00
Caolinita	00	00	09	08	00
Yeso	00	07	00	00	00
Mullita	00	00	17	15	00

- Ensayo granulométrico

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Las muestras están compuestas por mayoría de arena media, seguida por arena fina (Figura 4.38).

Figura 4.38 – Curva granulométrica



- Ensayo para determinación de límites de Atterberg

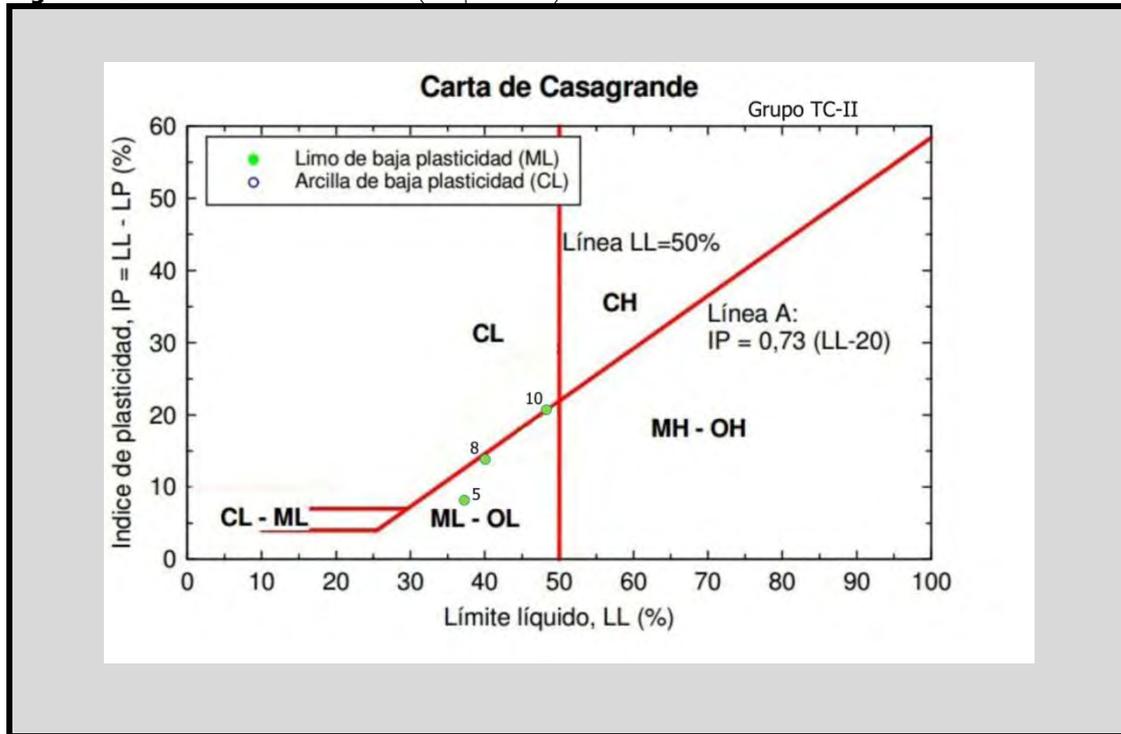
La Tabla 4.35 y la Figura 4.39 recogen los índices de Atterberg de las muestras del grupo. Se puede ver la predominancia de muestras clasificadas en limo de baja plasticidad (ML)

Tabla 4.35 – Límites de Atterberg

Resultado del Ensayo				
Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Clasificación
TC2	00	00	00	Nula
TC5	36.74	28.69	8.05	ML
TC8	39.87	26.99	12.88	ML
TC10	47.31	26.92	20.39	ML
TC14	00	00	00	Nula

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.39 – Carta de Casa Grande (Grupo TC-II)



- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo TC-II comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios la cal (CaO – 34,41 a 36,29 % en peso), la sílice (SiO_2 – 15,46 a 24,72 % en peso) y el aluminio (Al_2O_3 – 6,57 a 9,31 % en peso); mientras que los componentes minoritarios son el óxido de magnesio (MgO – 2,95 a 3,73 % en peso), compuestos de hierro (Fe_2O_3 – 2,6 a 3,32 % en peso), feldspatos ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), micas, compuestos de dióxido de titanio (TiO_2), óxido de fósforo (P_2O_5) y óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 28,49 a 33,9 % en peso. Como elementos traza con concentración superior a 100 PPM se puede ver el estroncio (Sr), el zirconio (Zr), bario (Ba) y el cloro (Cl). Además de pequeñas cantidades de cromo (Cr), cobre (Cu), zinc (Zn), rubidio (Rb), níquel (Ni) y bromo (Br).

Las Tablas 4.36 y 4.37 representan la composición química del grupo.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.36 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
Muestras	%											
TC5	22,27	8,30	3,28	0,03	3,73	35,78	0,09	0,94	0,39	0,10	00	31,8
TC8	24,72	9,31	3,32	0,03	2,95	34,41	0,12	2,02	0,41	0,10	00	28,5
TC10	15,46	6,57	2,60	0,03	3,12	36,29	0,11	1,30	0,24	0,14	0,16	33,9

Tabla 4.37 - Composición química de los elementos traza

Composición química			
Muestras	TC5	TC8	TC10
Elementos	PPM		
S	0	0	647
Cl	0	0	128
Cr	0	0	75
Ni	0	0	26
Cu	0	0	79
Zn	0	0	59
Br	0	0	10
Rb	0	0	56
Sr	665	742	505
Zr	127	117	52
Ba	0	0	159

Los índices de hidraulicidad del grupo están representados en la Tabla 4.38 que indican que las muestras del grupo tienen características predominantes de cemento rápido (CR)

Tabla 4.38 - Índice de hidraulicidad

Muestras	Índice de hidraulicidad	Clasificación
TC5	0,84	CR
TC8	0,94	CR
TC10	0,60	CI

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

4.3. Yacimiento del Tossal del Moro de Pinyeres

En este yacimiento se han estudiado 9 muestras, siendo 7 de adobe y 2 de mortero. Se trata de fragmentos con dimensiones entre 2 y 7 cm y tonalidad entre gris claro y gris rosáceo (Tabla 4.39).

Tabla 4.39 – Coordenadas cromáticas de Tossal del Moro de Pineres

Muestra	Munsell	Colorimetría		
		L	a	b
TM-1	7.5YR 7/3 PINK	66,51	11,75	23,43
TM-2	7.5YR 7/3 PINK	66,39	11,03	23,76
TM-3	10YR 7/2 LIGHT GRAY	68,80	4,48	15,66
TM-4	7.5YR 7/3 PINK	58,21	5,63	16,03
TM-5	7.5YR 7/3 PINK	66,28	10,98	23,64
TM-6	5YR 7/3 PINK	70,88	9,38	20,50
TM-7	7.5YR 7/2 PINKISH GRAY	58,14	7,06	23,87
TM-8	7.5YR 7/3 PINK	65,56	7,32	16,21
TM-9	7.5YR 7/2 PINKISH GRAY	59,37	6,96	16,95

En base a su naturaleza, composición mineralógica y características texturales, se diferencian dos grupos de muestras que son los siguientes:

❖ Grupo TM-I

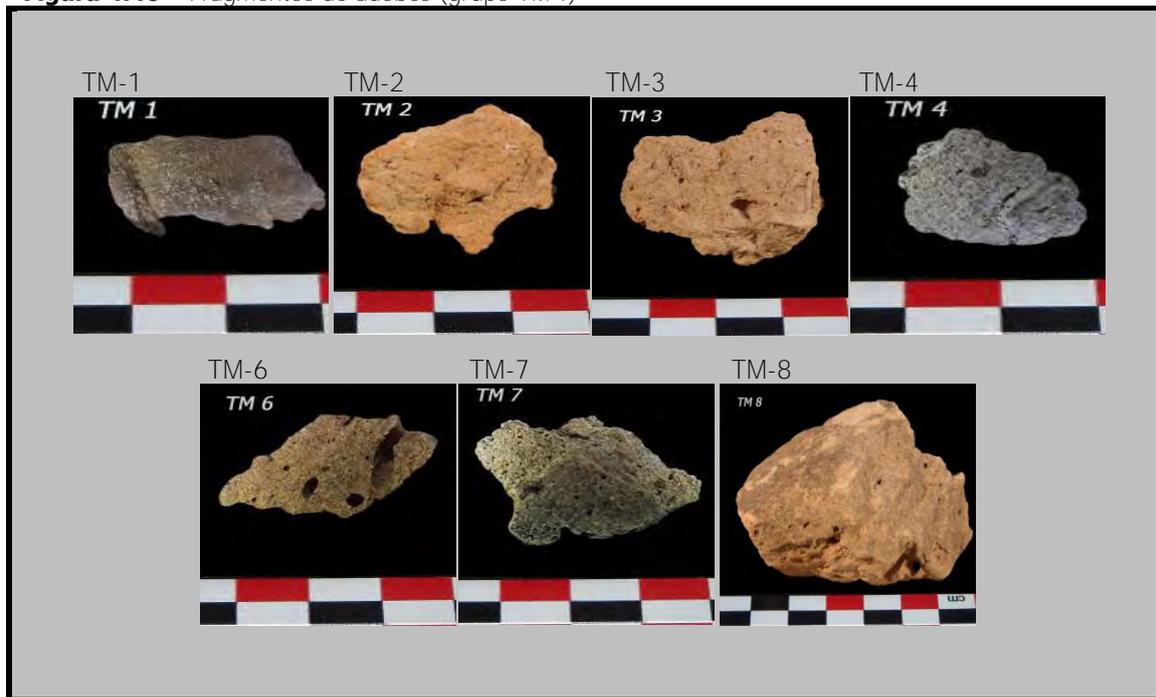
Formado por 7 muestras de adobe, este grupo se caracteriza porque los componentes minerales mayoritarios son cuarzo, calcita y moscovita y la textura general es porosa.

El grupo está compuesto de fragmentos con morfología irregular, de estructura muy poco compacta y con presencia visible de material orgánico. Poseen pequeñas diferencias de color y textura, aunque sin llegar a constituir tipos diferenciados respecto a las características generales del grupo.

La Figura 4.40 muestra el aspecto que presentan los fragmentos analizados.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.40 – Fragmentos de adobes (grupo TM-I)



- Análisis textural

En el grupo se observa la presencia de mayoría de limo, seguido de arena de grano muy fino (Gráfico 4.16). Los conglomerados poseen estructura heterogénea con características de áridos de machaqueo, de aspecto áspero, aristas vivas y con impurezas visibles. Los áridos tienen distribución moderada en TM-7; están bien distribuidos en TM-3, TM-4, TM-6 y TM-8 y mal distribuidos TM-2 y TM-1 (Figura 4.41).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Gráfico 4.16 – Diámetros de áridos (mm) - TMI

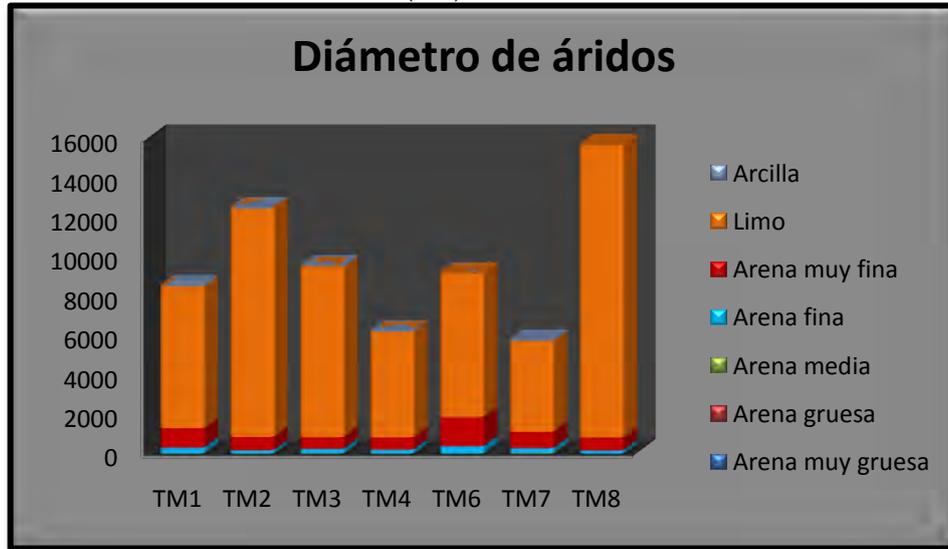
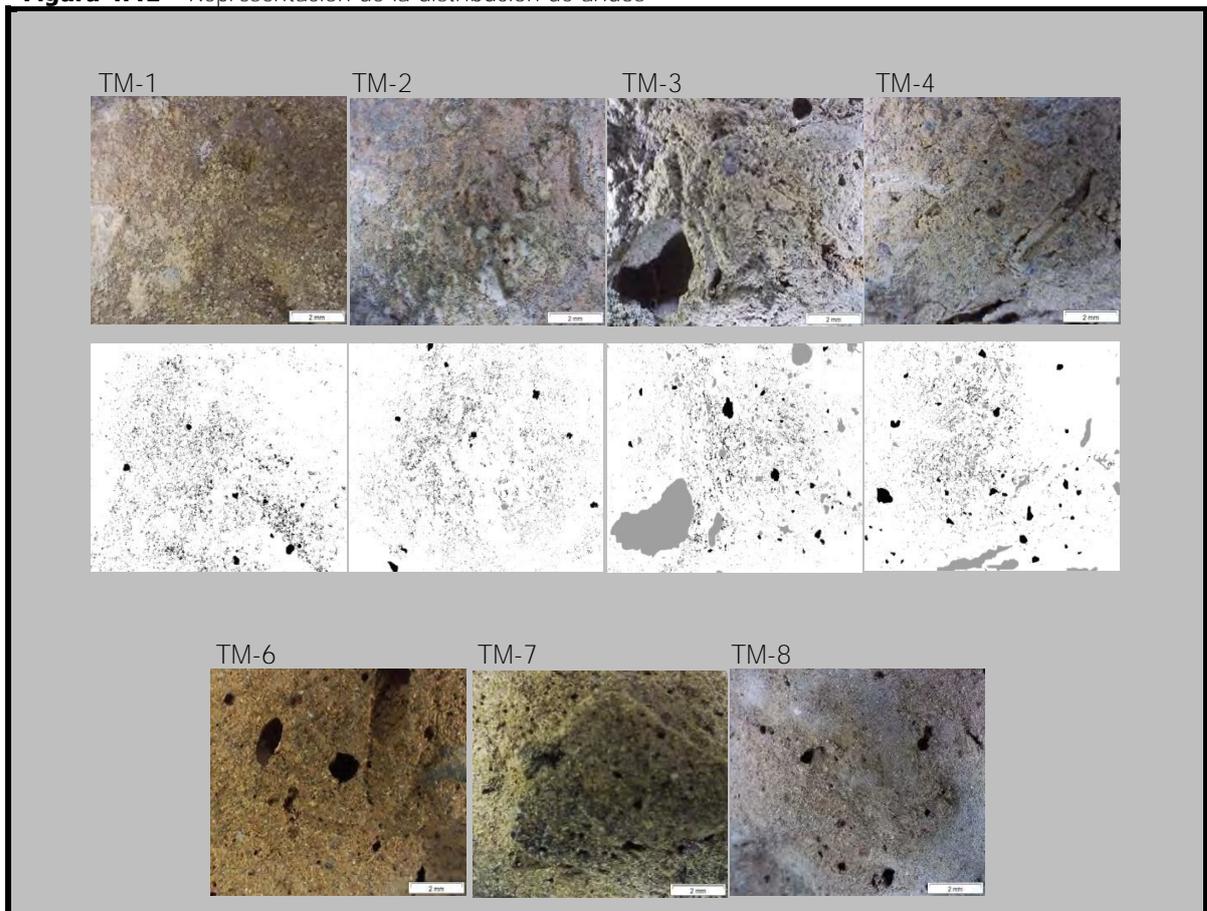
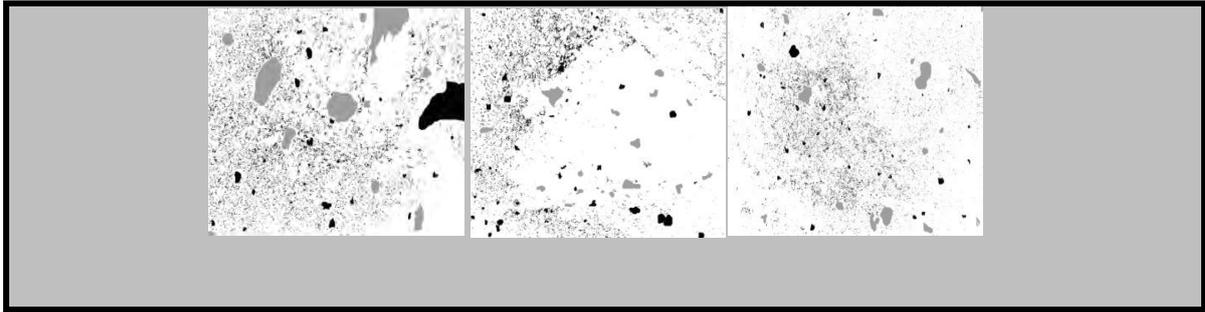


Figura 4.41 – Representación de la distribución de áridos

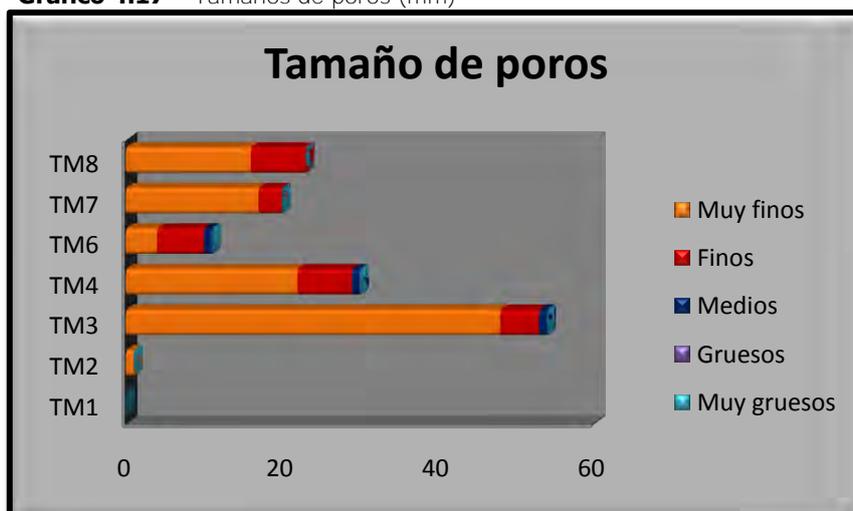


Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra



Existe predominio de poros de tamaño muy fino, seguidos de los finos (Gráfico 4.17). En cuanto a la abundancia, no hay poros en TM-1, muy pocos en TM-2, pocos en TM-4, TM-6, TM-7 y TM-8 y común en la muestra TM-3 (Tabla 4.40). En ese grupo se encuentran abundantes perforaciones y moldes de restos vegetales, que estaban dispuestos de modo aleatorio y tenían tamaños pequeños y medios. Los poros poseen la categoría preponderante de transmisión, seguido de las clases de enraizamiento, canal y almacenamiento, respectivamente véase (Gráfico 4.18). Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales, vesiculares, cavidades y canales, reafirmando la probable utilización de elementos vegetales en la mezcla para la fabricación de los adobes (Figura 4.41).

Gráfico 4.17 – Tamaños de poros (mm)

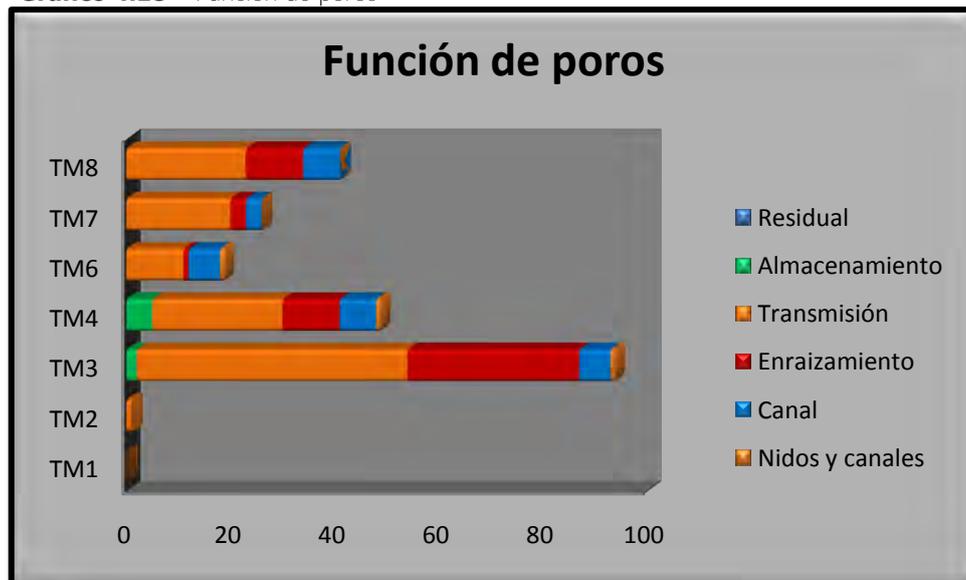


Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.40 – Números de poros por cm²- TMI

Abundancia	Muy pocos (1-20)	Pocos (20-50)	Comunes (50-200)
TM1	-	-	-
TM2	1	-	-
TM3	-	-	54
TM4	-	30	-
TM6	11	-	-
TM7	-	20	-
TM8	-	23	-

Gráfico 4.18 – Función de poros

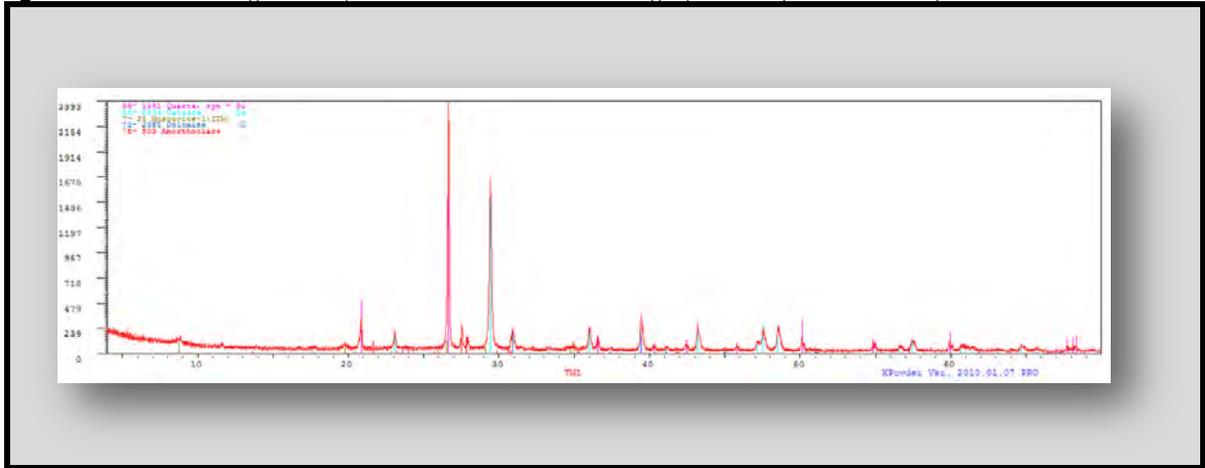


- **Estudio mineralógico**

El difractograma recogido en la Figura 4.42 es representativo de la mineralogía de este grupo.

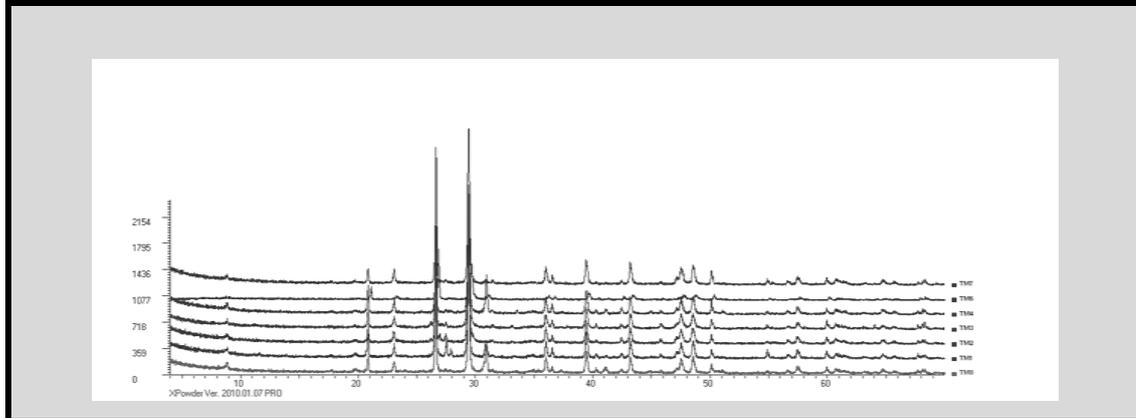
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.42 – Difractograma representativo de muestra del grupo TM-I (muestra TM-1)



La Figura 4.43 recoge los difractogramas comparados de las distintas muestras.

Figura 4.43 – Difractograma comparativo del grupo TM-I



Las muestras están constituidas por carbonatos (calcita y dolomita), filosilicatos (tipo moscovita / illita), y tectosilicatos (cuarzo y feldespatos tipo anortoclase). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.41.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

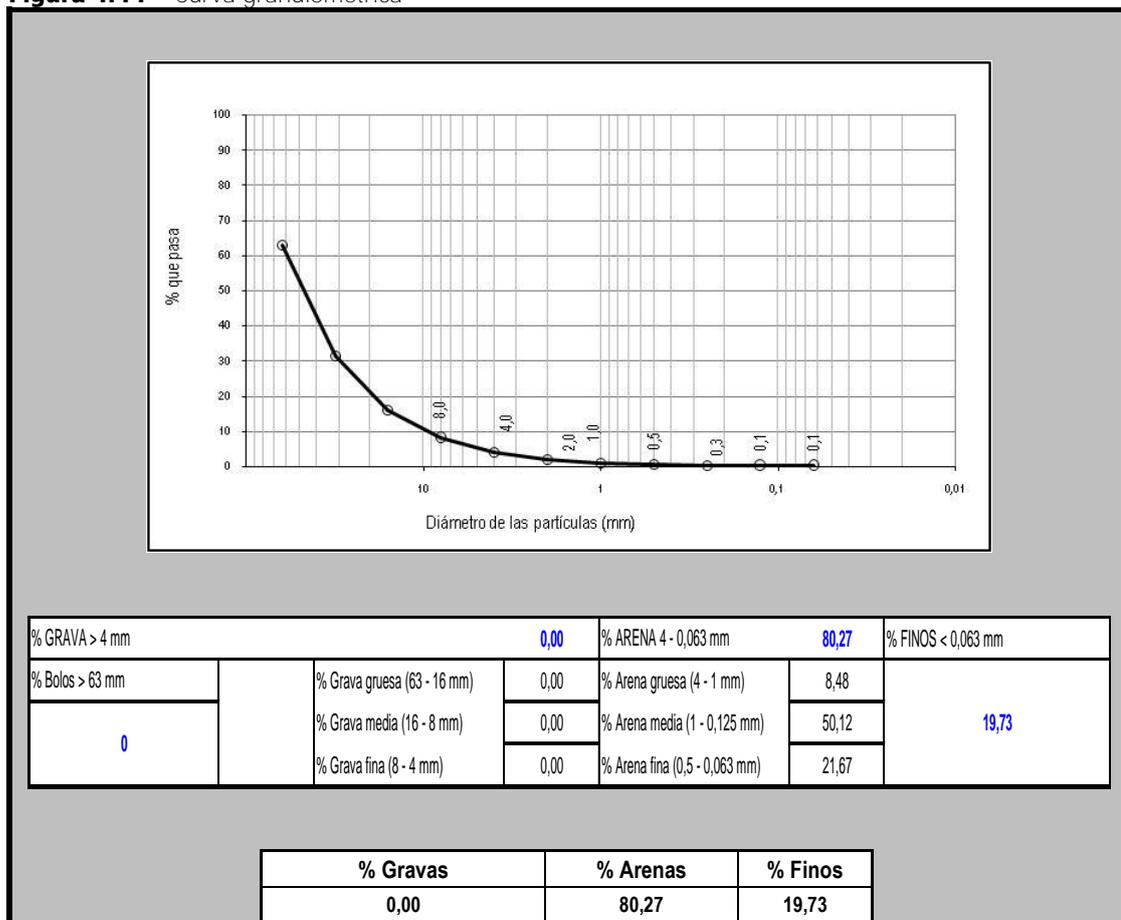
Tabla 4.41 - Composición mineralógica de adobes (%)

Muestras	TM1	TM2	TM3	TM4	TM6	TM7	TM8
Cuarzo	36	16	32	27	41	07	20
Calcita	29	45	42	40	29	46	27
Moscovita	18	11	08	17	15	38	34
Dolomita	05	00	00	16	07	02	10
Anortoclasa	12	28	18	00	08	07	09

- Ensayo granulométrico

Las muestras están compuestas por mayoría de arena media, seguida por arena fina y gruesa (Figura 4.44).

Figura 4.44 – Curva granulométrica



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

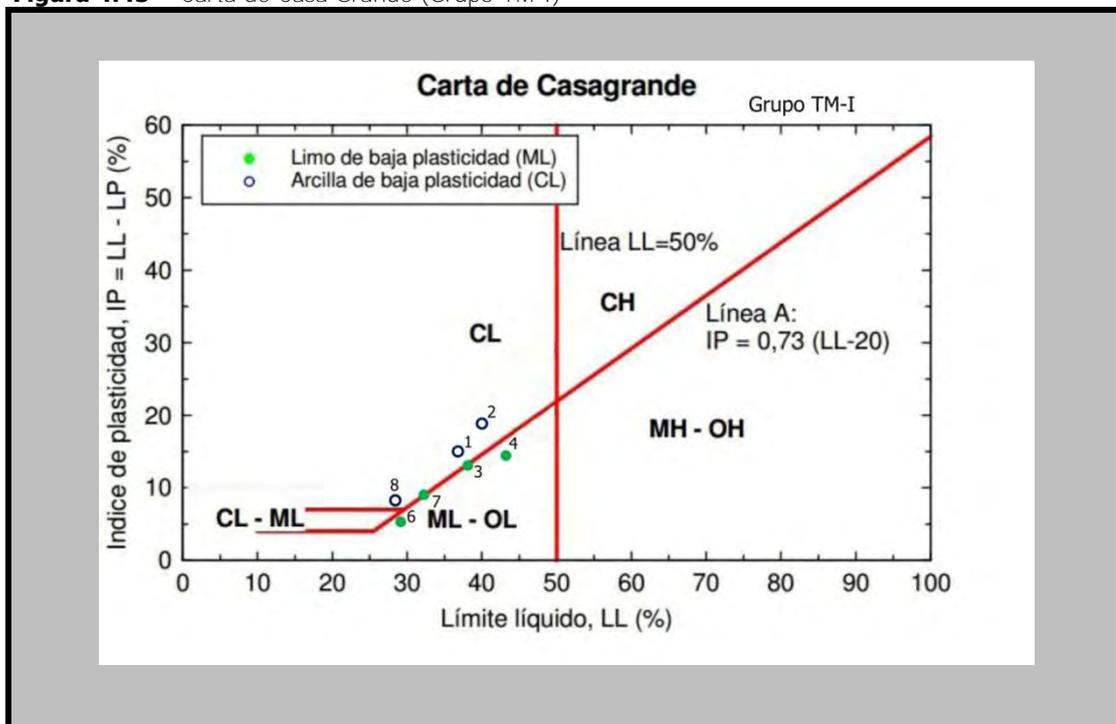
- Ensayo para determinación de límites de Atterberg

La Tabla 4.42 y la Figura 4.45 recogen los índices de Atterberg de las muestras del grupo. Se puede ver el predominio de muestras clasificadas en limo de baja plasticidad (ML) en comparación con las de arcilla de baja plasticidad (CL).

Tabla 4.42 – Límites de Atterberg

Resultado del ensayo				
Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Clasificación
TM1	36.82	21.84	14.98	CL
TM2	40.08	21.76	18.33	CL
TM3	37.85	24.37	13.48	ML
TM4	43.14	28.6	14.54	ML
TM6	29.62	23.47	6.15	ML
TM7	31.54	22.51	9.03	ML
TM8	29.13	20.27	8.86	CL

Figura 4.45 – Carta de Casa Grande (Grupo TM-I)



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo TMI comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios la cal (CaO – 31,81 a 39,3 % en peso), la sílice (SiO₂– 20,7 a 25,39 % en peso), el aluminio (Al₂O₃– 3,44 a 8,09 % en peso) y el óxido de magnesio (MgO – 3,5 a 4,91 % en peso); mientras que los componentes minoritarios son compuestos de hierro (Fe₂O₃– 1,37 a 2,64 % en peso) , feldspatos (Na₂O + K₂O), micas (óxidos de silicio y aluminio ligados a potasio, hierro y magnesio), compuestos dióxido de titanio (TiO₂ – 0,3 a 0,37 % en peso), óxido de fósforo (P₂O₅ - 0,05 a 0,09 % en peso) y óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 26 a 30,5 % en peso. Como elementos traza con concentración superior a 100 PPM se puede ver el cloro (Cl), estroncio (Sr), el zirconio (Zr) y el bario (Ba). Además de pequeñas cantidades de cromo (Cr), Cobre (Cu), rubidio (Rb), zinc (Zn), níquel (Ni), galio (Ga), arsénio (As) y bromo (Br).

Las Tablas 4.43 y 4.44 representan la composición química del grupo.

Tabla 4.43 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
Muestras	%											
TM1	23,50	8,09	2,64	0,05	3,50	31,81	0,32	2,13	0,37	0,09	1,25	26
TM4	20,70	6,58	1,99	0,03	4,08	35,03	0,20	1,51	0,30	0,09	0,36	29
TM7	25,39	3,44	1,37	0,03	4,70	39,30	0,14	0,87	0,31	0,05	00	30,5
TM8	21,40	7,07	2,16	0,03	4,91	33,15	0,18	1,50	0,33	0,07	0,25	28,7

Tabla 4.44 - Composición química de los elementos traza

Composición química				
Muestras	TM1	TM4	TM7	TM8
Elementos	PPM			
S	4993	1428	0	1015
Cl	1064	242	0	196
Cr	80	69	0	84

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Ni	28	24	0	28
Cu	68	64	0	59
Zn	58	49	0	48
Ga	12	0	0	7
As	0	0	0	26
Br	6	0	0	4
Rb	64	50	0	53
Sr	571	731	852	994
Zr	153	144	216	142
Ba	198	169	0	180

Los índices de hidraulicidad del grupo están representados en la tabla 4.45 que indican que las muestras del grupo tienen características de cemento rápido (CR)

Tabla 4.45 - Índice de hidraulicidad

Muestras	Índice de hidraulicidad	Clasificación
TM1	0,86	CR
TM4	0,69	CR
TM7	0,67	CR
TM8	0,77	CR

❖ Grupo TM-II

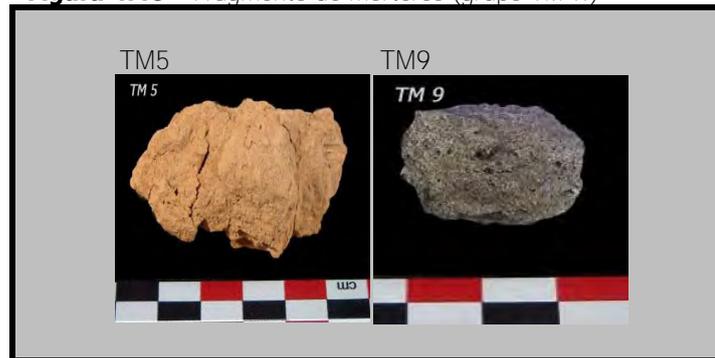
Formado por 2 muestras mortero del tipo revestimiento, este grupo se caracteriza por tener como minerales mayoritarios calcita, moscovita y cuarzo y la textura porosa.

El grupo está compuesto de fragmentos con morfología irregular, de estructura compacta y no tiene material orgánico visible. Posee más homogeneidad de color y textura, confirmando las características generales del grupo.

La Figura 4.46 muestra el aspecto que presentan los fragmentos analizados.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.46 – Fragmento de morteros (grupo TM-II)



- Análisis textural

En el grupo se observa la presencia de mayoría de limo, seguido de arena de grano muy fino y fino (Gráfico 4.19). Los conglomerados poseen estructura heterogénea con características de áridos granulares, de aspecto redondeado y pocas impurezas visibles. Los áridos tienen distribución moderada en TM-09 y están mal distribuidos TM-05 (Figura 4.47).

Gráfico 4.19 – Diámetros de áridos (mm) - TMII

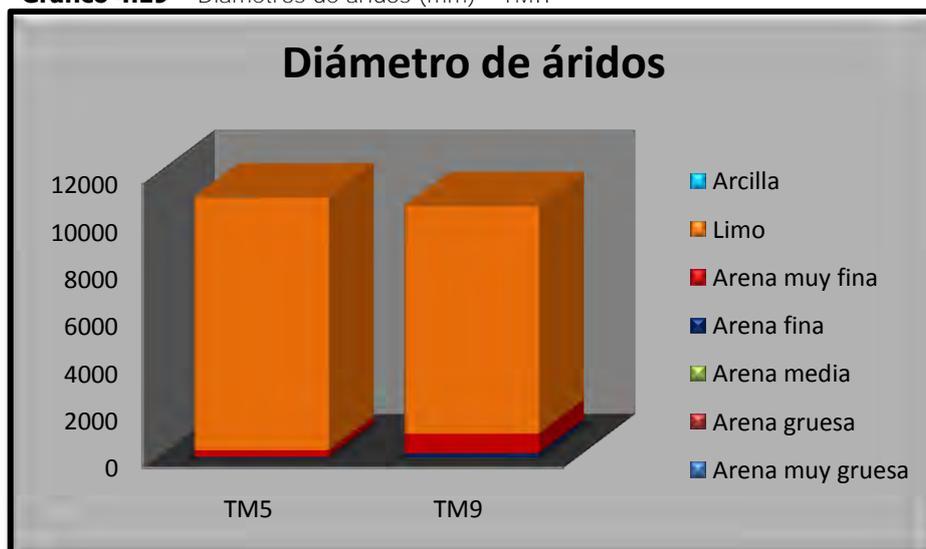
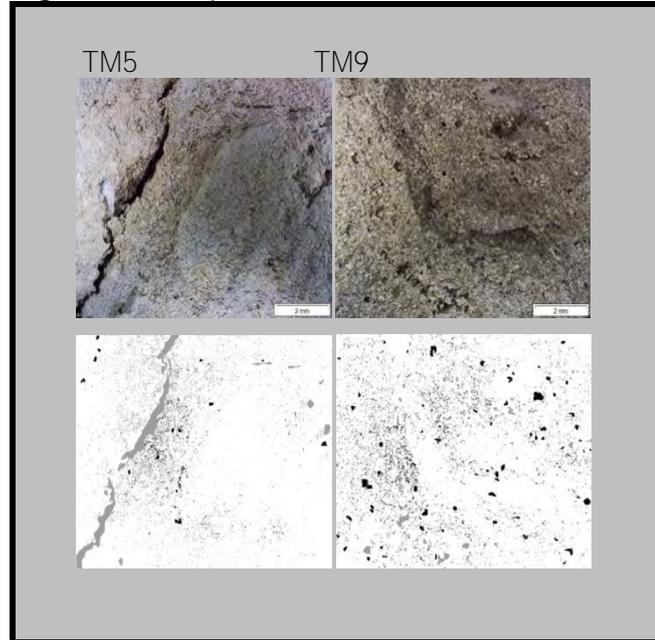


Figura 4.47 – Representación de la distribución de áridos



Predominan los poros de tamaño muy fino, seguidos de los finos y medios (Gráfico 4.20). En cuanto a la abundancia, se tiene la clasificación muy pocos en las dos muestras (Tabla 4.46). En el grupo no se encuentran perforaciones y moldes de restos vegetales. Los poros tienen las categorías de transmisión, enraizamiento y canal respectivamente (Gráfico 4.21). Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales, vesiculares y planos. En ese caso no se puede certificar la utilización de elementos vegetales en la masa (Figura 4.47).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Gráfico 4.20 – Tamaño de poros

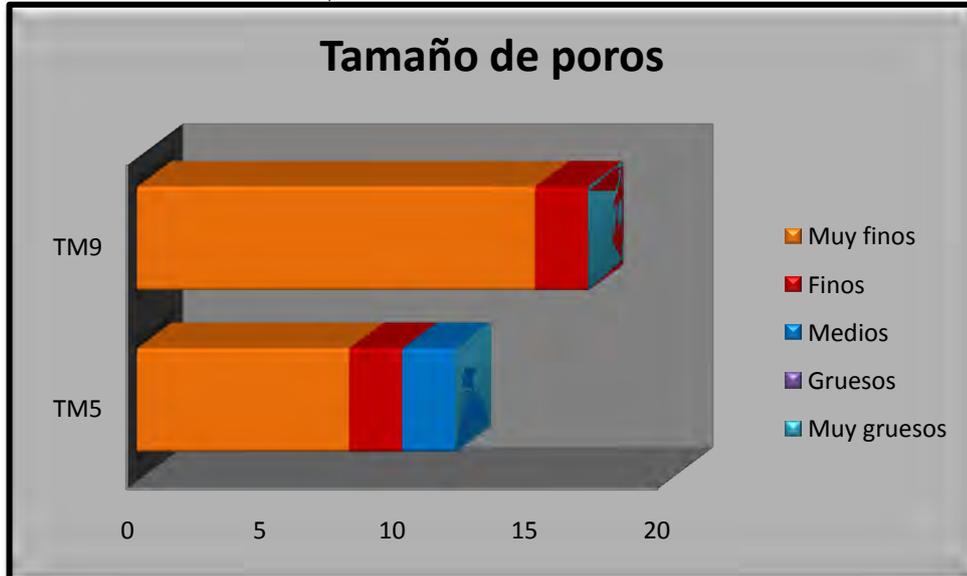
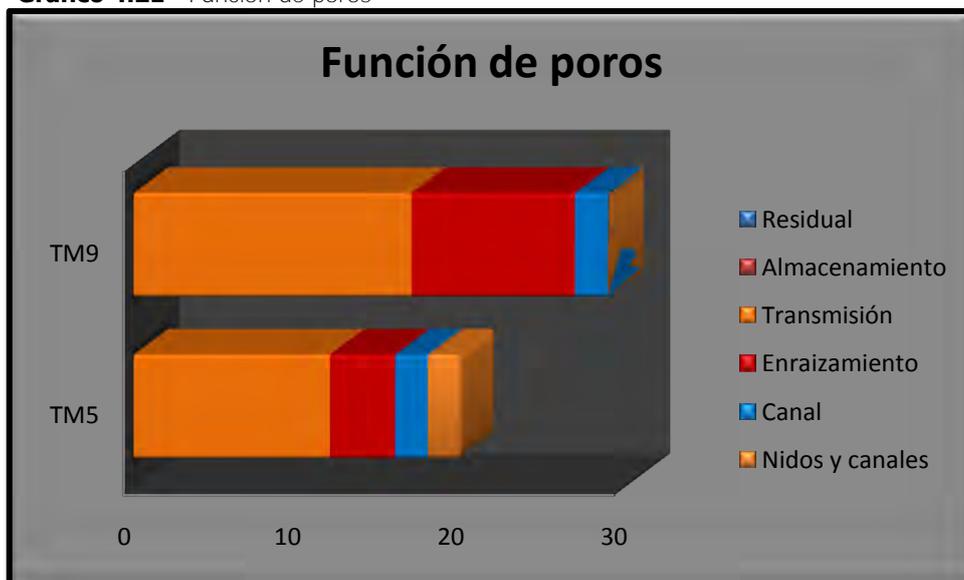


Tabla 4.46 – Números de poros por cm² - TMI

Abundancia	Muy pocos (1-20)
TM5	14
TM9	17

Gráfico 4.21 - Función de poros

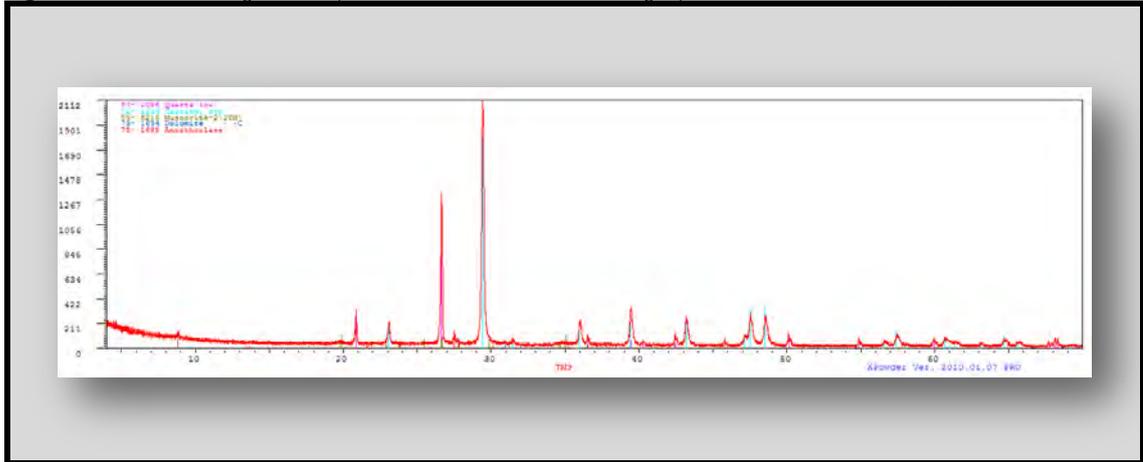


Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

- Composición mineral

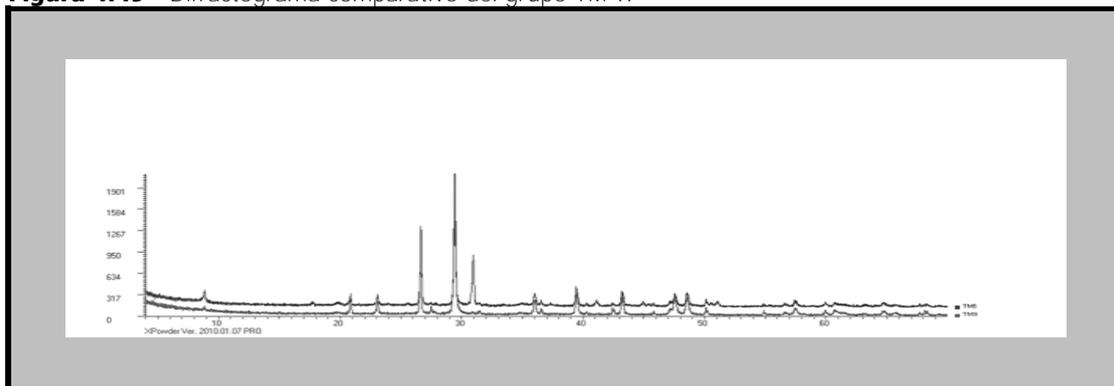
El difractograma recogido en la Figura 4.48 es representativo de la mineralogía de este grupo.

Figura 4.48 -Difractograma representativo de muestra del grupo TM-II (muestra TM-9)



La Figura 4.49 recoge los difractogramas comparados de las distintas muestras.

Figura 4.49 - Difractograma comparativo del grupo TM-II



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Las muestras están constituidas por carbonatos (calcita y dolomita), filosilicatos (tipo moscovita / illita), y tectosilicatos (cuarzo y feldespatos tipo anortoclasa). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.47.

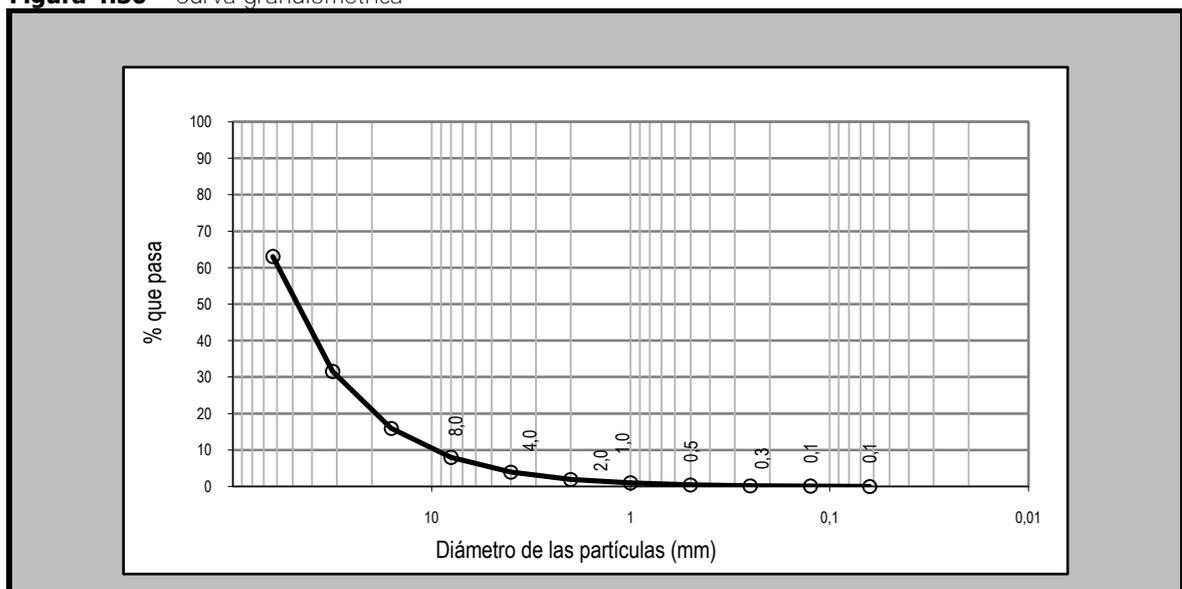
Tabla 4.47 - Composición mineralógica de morteros (%)

Muestras	TM5	TM9
Cuarzo	16	25
Calcita	27	34
Moscovita	38	25
Dolomita	19	01
Anortoclasa	00	15

- Ensayo granulométrico

Las muestras están compuestas por mayoría de arena media, seguida arena fina (Figura 4.50).

Figura 4.50 – Curva granulométrica



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

% GRAVA > 4 mm		0,00	% ARENA 4 - 0,063 mm		87,08	% FINOS < 0,063 mm
0	% Bolos > 63 mm		% Grava gruesa (63 - 16 mm)	0,00	% Arena gruesa (4 - 1 mm)	3,94
			% Grava media (16 - 8 mm)	0,00	% Arena media (1 - 0,125 mm)	67,86
			% Grava fina (8 - 4 mm)	0,00	% Arena fina (0,5 - 0,063 mm)	15,28
		% Gravas	% Arenas		% Finos	
		0,00	87,08		12,92	

- Ensayo para determinación de límites de Atterberg

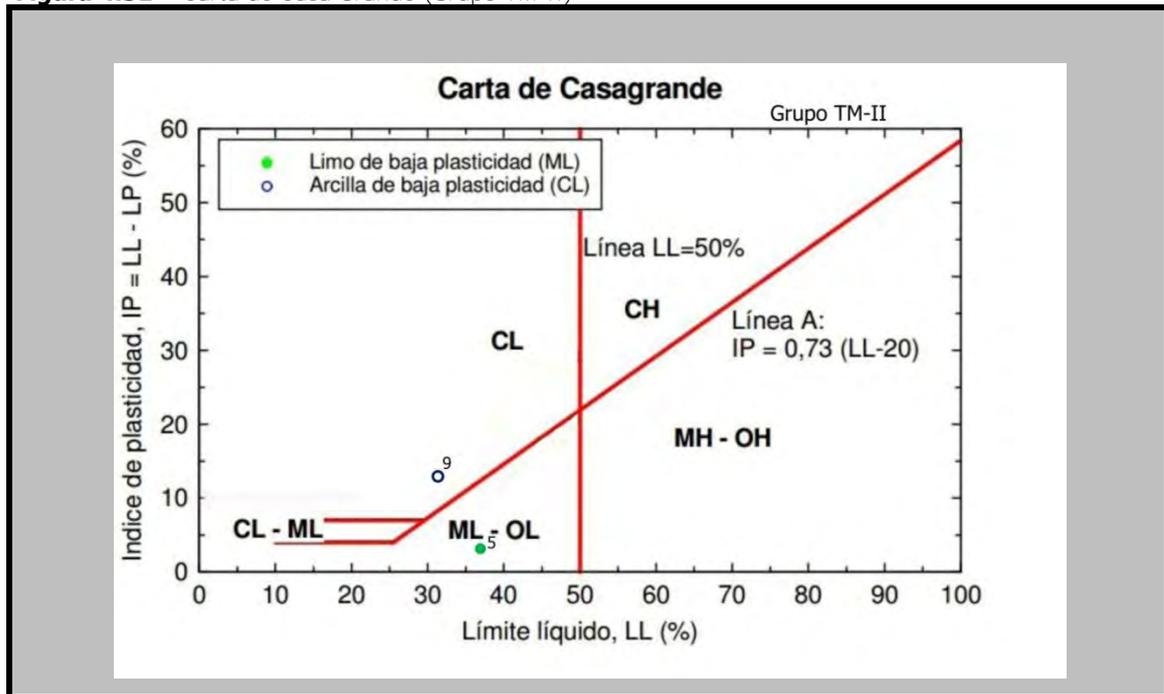
La Tabla 4.48 y la Figura 4.51 recogen los índices de Atterberg de las muestras del grupo. Se puede ver el equilibrio entre limo de baja plasticidad (ML) y arcilla de baja plasticidad (CL).

Tabla 4.48 – Límites de Atterberg

Resultado del Ensayo				
Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Clasificación
TM5	36.48	32.71	3.77	ML
TM9	30.95	18.12	12.83	CL

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.51 – Carta de Casa Grande (Grupo TM-II)



- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo TMII comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios la cal (CaO – 31 a 39,13 % en peso), la sílice (SiO_2 – 21,19 a 25,61 % en peso), el aluminio (Al_2O_3 – 3,47 a 8,6 % en peso) y el óxido de magnesio (MgO – 4 a 4,2 % en peso); mientras que los componentes minoritarios son compuestos de hierro (Fe_2O_3 – 1,5 a 2,52 % en peso) , feldspatos ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), micas (óxidos de silicio y aluminio ligados a potasio, hierro y magnesio), compuestos dióxido de titanio (TiO_2 – 0,3 a 0,34 % en peso), óxido de fósforo (P_2O_5 - 0,07 a 0,08 % en peso) y óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 29,3 a 31,3 % en peso. Como elementos traza con concentración superior a 100 PPM se puede ver el estroncio (Sr), el bario (Ba), el zirconio (Zr), cloro (Cl). Además de pequeñas cantidades de rubidio (Rb), cromo (Cr), Cobre (Cu), zinc (Zn), níquel (Ni), galio (Ga) y bromo (Br).

Las Tablas 4.49 y 4.50 representan la composición química del grupo.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.49 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
Muestras	%											
TM5	21,19	8,60	2,52	0,03	4,20	31,00	0,20	1,80	0,34	0,08	0,27	29,3
TM9	25,61	3,47	1,50	0,03	4,00	39,13	0,17	0,90	0,31	0,07	00	31,3

Tabla 4.50 - Composición química de los elementos traza

Composición química		
Muestras	TM5	TM9
Elementos	PPM	
S	1081	0
Cl	227	0
Cr	48	0
Ni	25	0
Cu	48	0
Zn	39	0
Ga	8	0
Br	4	0
Rb	61	0
Sr	870	1087
Zr	100	208
Ba	283	0

Los índices de hidraulicidad del grupo están representados en la Tabla 4.51 que indican que las muestras del grupo tienen características de cemento rápido (CR)

Tabla 4.51 - Índice de hidraulicidad

Muestras	Índice de hidraulicidad	Clasificación
TM5	0,87	CR
TM9	0,69	CR

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

4.4. Yacimiento de Els Castellons de Flix

En este yacimiento se han estudiado 3 muestras de adobes. Se trata de fragmentos con dimensiones entre 3 a 5 cm y tonalidades que van de gris a rosáceo, pasando por marrón claro (Tabla 4.52).

Tabla 4.52 – Coordenadas cromáticas de Castellons de Flix

Muestra	Munsell	Colorimetría		
		L	a	b
C-1	10YR 7/2 LIGHT GRAY	66,68	4,51	18,08
C-2	5YR 7/4 PINK	55,96	13,28	22,93
C-3	10YR 8/3 VERY PALE BROWN	74,36	7,67	22,34

En base a su naturaleza, composición mineralógica y características texturales, se describe un grupo de muestras:

❖ Grupo C-I

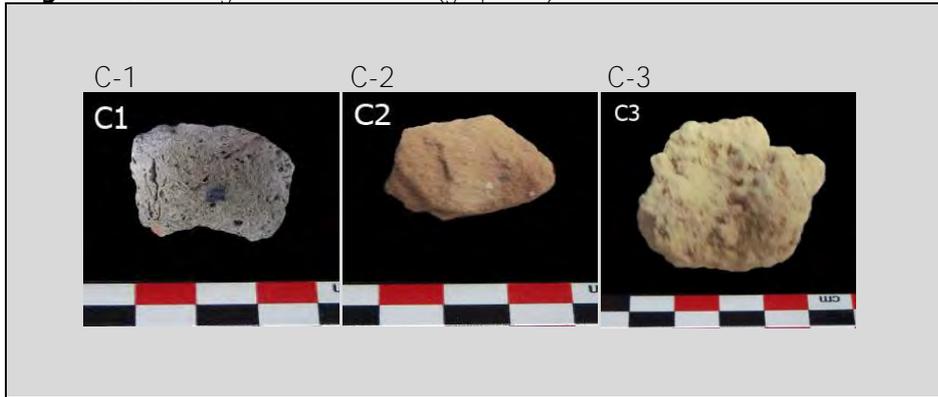
Formado por 3 muestras de adobes, este grupo se caracteriza por presentar calcita, moscovita, dolomita y cuarzo como componentes minerales mayoritarios y la textura general es porosa y granular.

El grupo está compuesto de fragmento con morfología irregular, de estructura poco compacta y sin presencia visible de material orgánico. Poseen pequeñas diferencias de color y textura, aunque sin llegar a constituir tipos diferenciados respecto a las características generales del grupo.

La Figura 4.52 muestra el aspecto que presentan los fragmentos analizados.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.52 – Fragmentos de adobes (grupo C-I)



- Análisis textural

En el grupo se observa la presencia de mayoritaria de limo, seguido de arena de grano muy fino y fino (véase Gráfico 4.22). Los conglomerados poseen estructura heterogenea con características principales de áridos granulares y arcillosos, de aspecto liso, aristas redondeadas y con pocas impurezas visibles. Los áridos están mal distribuidos (véase Figura 4.53).

Gráfico 4.22 - Diámetro de áridos (mm) - C1

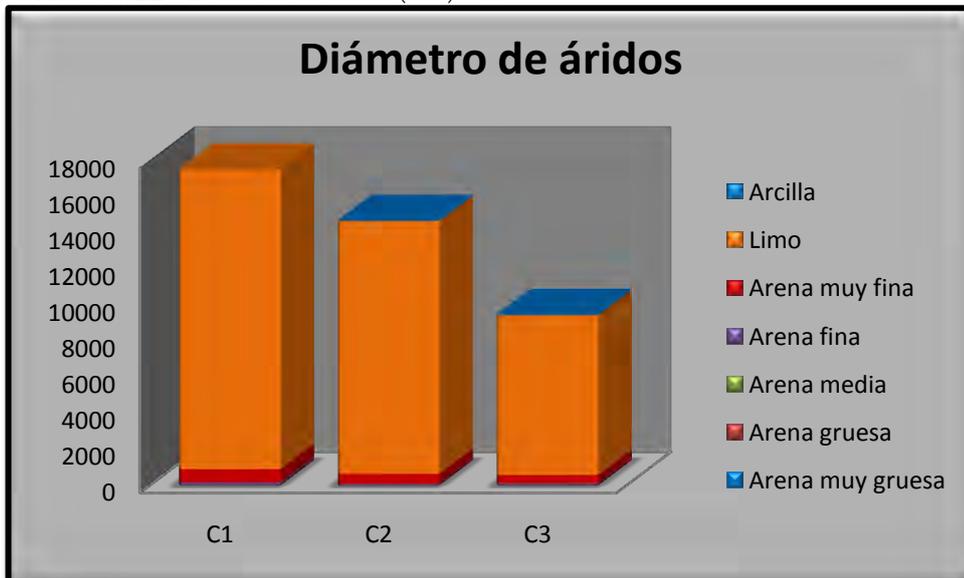
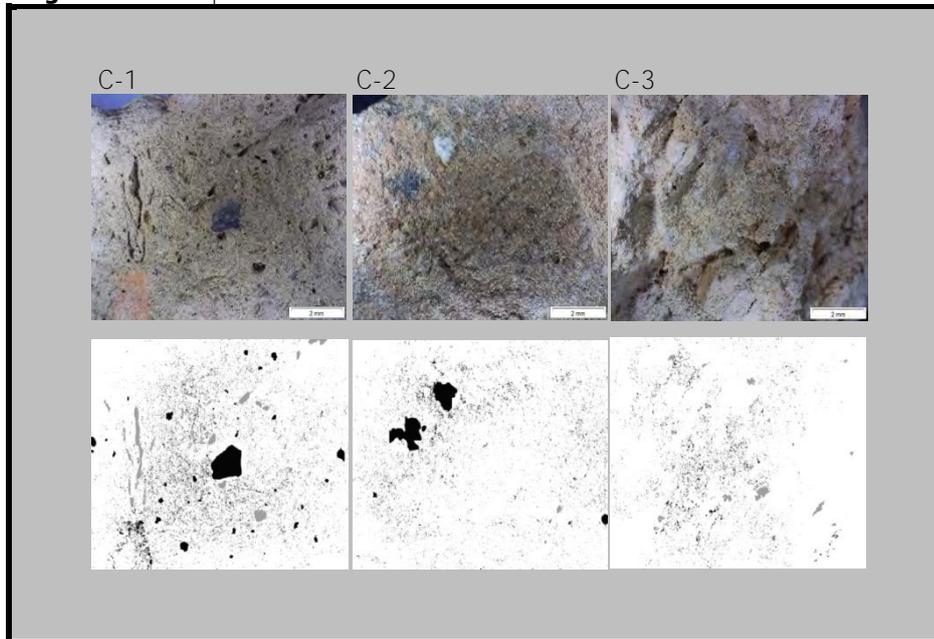


Figura 4.53 - Representación de la distribución de áridos



Existe predominio de poros de tamaño muy fino, seguidos de finos (Gráfico 4.23). Cuanto a la abundancia, los poros son muy pocos en C-2 y C-3; pocos en C-1 (Tabla 4.53). En ese grupo se encuentran abundantes perforaciones y moldes de posibles restos vegetales, que están dispuestos de modo aleatorio y tienen tamaños pequeños y medios. Los poros poseen la categoría preponderante de transmisión, seguido de la clase de enraizamiento, de canal y almacenamiento (Gráfico 4.24). Cuanto a la clasificación se observan poros intersticiales, vesiculares, cavidades y canales, reafirmando la probable utilización de elementos vegetales en la mezcla para la fabricación de los adobes (Figura 4.53).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Grafico 4.23 – Tamaños de poros (mm)

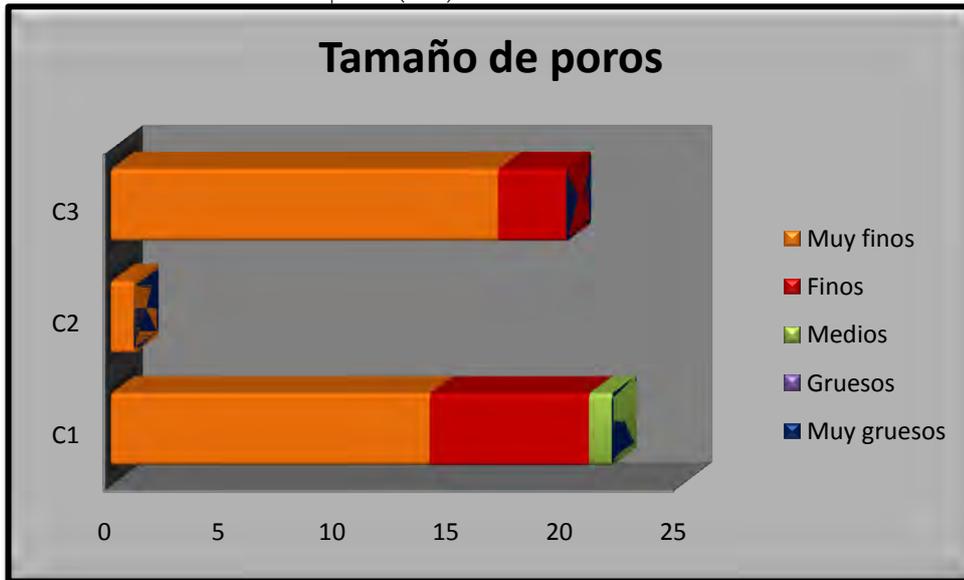
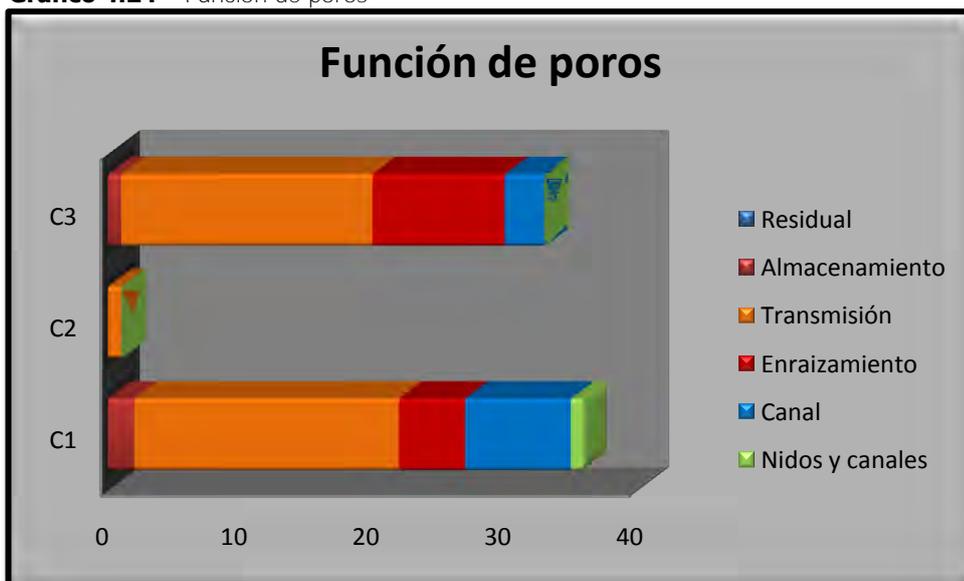


Tabla 4.53 – Número de poros por cm² - C1

Abundancia	Muy pocos (1-20)	Pocos (20-50)
C1	-	22
C2	1	-
C3	20	-

Gráfico 4.24 – Función de poros

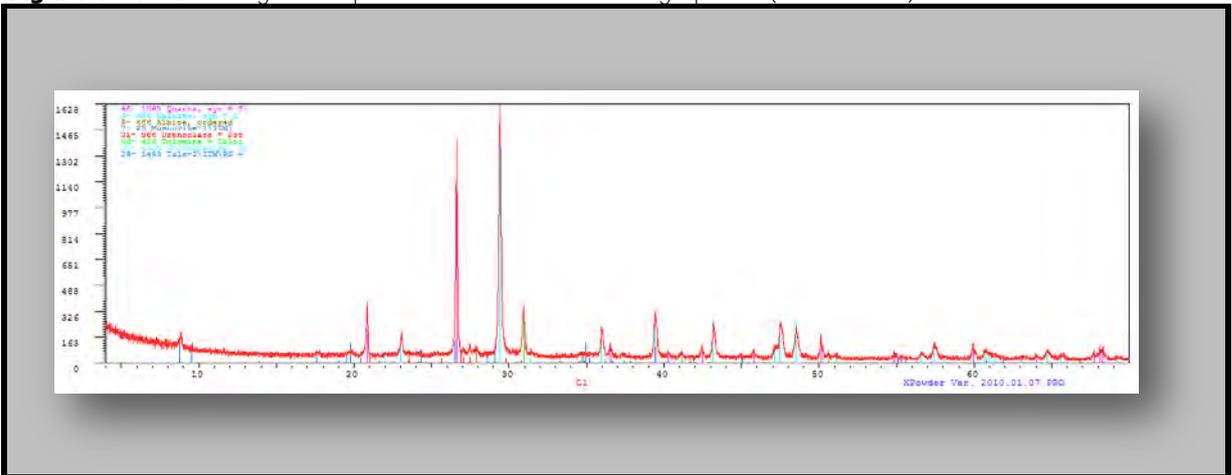


Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

- Estudio mineralógico

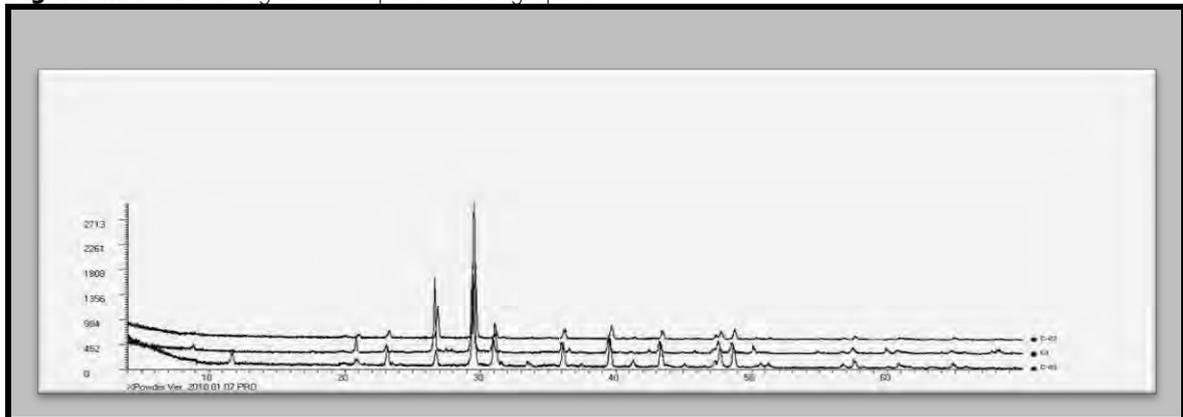
El difractograma recogido en la Figura 4.54 es representativo de la mineralogía de este grupo.

Figura 4.54 – Difractograma representativo de muestra del grupo C-I (muestra C-1)



La Figura 4.55 recoge los difractogramas comparados de las distintas muestras.

Figura 4.55 – Difractograma comparativo del grupo C-I



Las muestras están constituidas por carbonatos (calcita y dolomita), filosilicatos (tipo moscovita / illita y talco), tectosilicatos (cuarzo, cristobalita y feldespatos tipo ortoclasa y albita) y sulfato (yeso). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.54.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

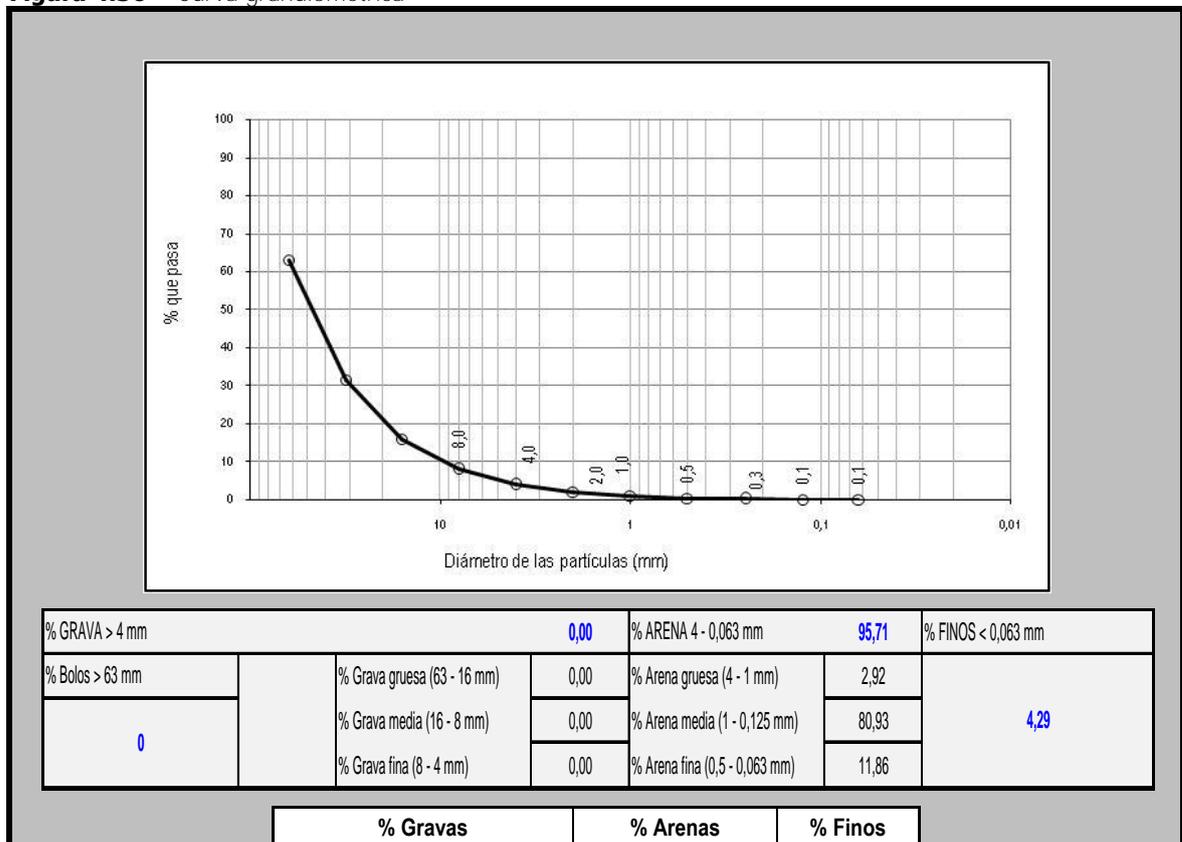
Tabla 4.54 – Composición mineralógica de adobes (%)

Muestras	C1	C2	C3
Cuarzo	17.9	25.3	09.4
Calcita	35.5	50.1	55.9
Moscovita	17.2	17.2	12.2
Dolomita	15.6	07.4	18.7
Albita	02.4	00.0	00.0
Ortoclasa	03.6	00.0	00.0
Cristobalita	02.8	00.0	00.0
Talco	05.0	00.0	00.0
Yeso	00.0	00.0	03.8

- Ensayo granulométrico

Las muestras están compuestas por mayoría de arena media, seguida por arena fina (Figura 4.56).

Figura 4.56 – Curva granulométrica



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

	0,00	95,71	4,29
--	------	-------	------

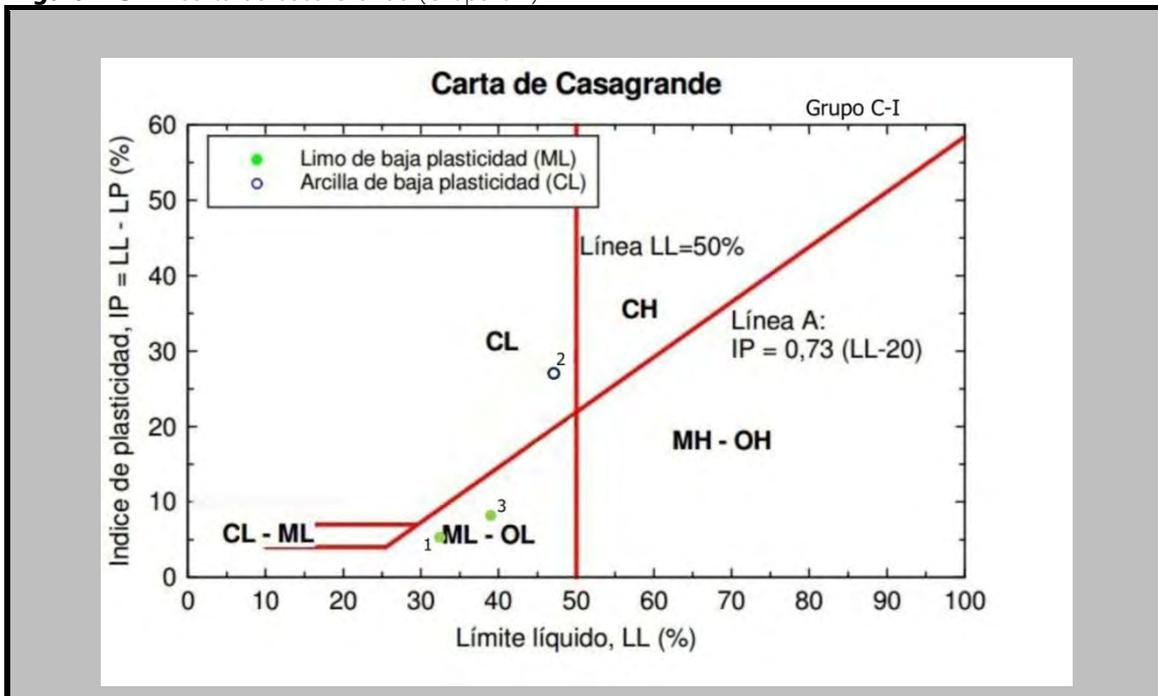
- Ensayo para determinación de límites de Atterberg

La Tabla 4.55 y la Figura 4.57 recogen los índices de Atterberg de las muestras del grupo. Se puede ver la predominancia de muestras clasificadas en limo de baja plasticidad (ML) en comparación con las de arcilla de baja plasticidad (CL).

Tabla 4.55 – Límites de Atterberg

Resultado del ensayo				
Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Clasificación
C1	32.49	25.81	6.68	ML
C2	47	19.08	27.92	CL
C3	39.45	31.76	7.69	ML

Figura 4.57 – Carta de Casa Grande (Grupo C-I)



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo C-I comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios la cal (CaO – 41,1 a 43,7 % en peso), la sílice (SiO₂– 7,69 a 13,5 % en peso) y el aluminio (Al₂O₃– 2,81 a 4,32 % en peso), mientras que los componentes minoritarios son óxido de magnesio (MgO), compuestos de hierro (Fe₂O₃), feldespatos (Na₂O + K₂O), micas (óxidos de silicio y aluminio ligados a potasio, hierro y magnesio), compuestos dióxido de titanio (TiO₂), óxido de fósforo (P₂O₅) y óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 35,9 a 37,6 % en peso. Como elementos traza con concentración superior a 100 PPM se puede ver el estroncio (Sr), bario (Ba), zirconio (Zr) y el cobre (Cu). Además de pequeñas cantidades de cloro (Cl), cromo (Cr), zinc (Zn), plomo (Pb), yodo (I), níquel (Ni), bromo (Br), tantalio (Ta), rubidio (Rb) e itrio (Y).

Las Tablas 4.56 y 457 representan la composición química del grupo.

Tabla 4.56 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
Muestras	%											
C2	13,5	4,32	1,48	0,03	2,1	41,1	0,08	0,94	0,23	0,05	0,10	35,9
C3	7,69	2,81	1,27	0,03	3,1	43,7	0,02	0,48	0,13	0,05	2,63	37,6

Tabla 4.57 - Composición química de los elementos traza

Composición química		
Muestras	C2	C3
Elementos	PPM	
S	409	10532
Cl	86	48
Cr	41	63
Ni	18	34
Cu	215	128
Zn	78	51
Br	0	26
Rb	0	2
Sr	212	2634

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Y	0	2
Zr	68	122
I	55	46
Ba	359	48
Ta	0	65
Pb	0	63

Los índices de hidraulicidad del grupo están representados en la Tabla 4.58 que indican que las muestras del grupo tienen características de eminentemente hidráulico (EH) en C2 y medianamente hidráulico (MH) en C3.

Tabla 4.58 - Índice de hidraulicidad

Muestras	Índice de hidraulicidad	Clasificación
C2	0,44	EH
C3	0,25	MH

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

4.5. Yacimiento de Sant Miquel de Vinebre

En este yacimiento se han estudiado 4 muestras de adobe. Se trata de fragmentos con dimensiones entre 3 y 7 cm y tonalidades que van de gris a marrón claro, pasando por rosa amarronado (Tabla 4.59).

Tabla 4.59 – Coordenadas cromáticas de Sant Miquel de Vinebre

Muestra	Munsell	Colorimetría		
		L	a	b
SM-1	7.5YR 5/1 GRAY	58,24	4,87	15,67
SM-2	7.5YR 6/3 LIGHT BROWN	52,98	8,10	15,83
SM-3	7.5YR 6/3 LIGHT BROWN	56,68	8,29	17,49
SM-4	5YR 6/4 LIGHT REDDISH BROWN	60,68	12,57	20,19

En base a su naturaleza, composición mineralógica y características texturales, se describe un grupo de muestras:

❖ Grupo SM I

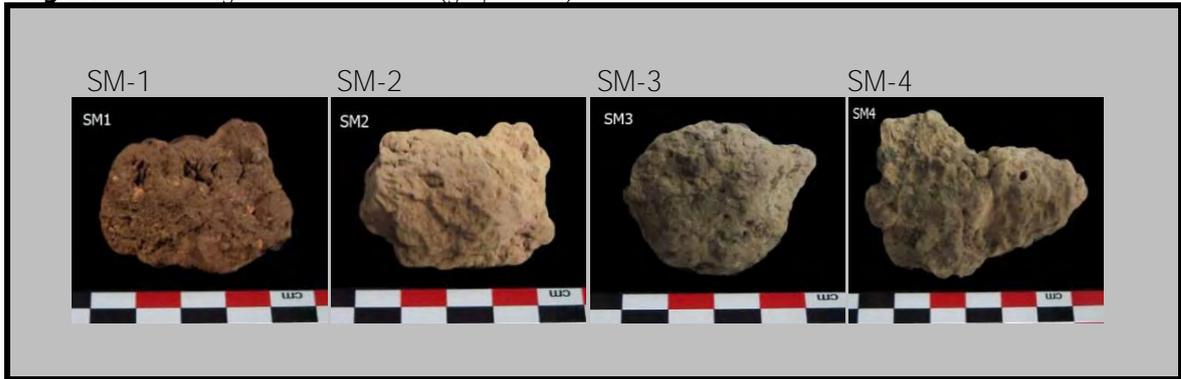
Formado por 4 muestras de adobe, este grupo se caracteriza por presentar calcita, moscovita y cuarzo como componentes minerales mayoritarios y textura general porosa y granular.

El grupo está compuesto por fragmentos con morfología irregular, de estructura muy poco compacta y con presencia visible de material orgánico. Poseen pequeñas diferencias de color y textura, aunque sin llegar a constituir tipos diferenciados respecto a las características generales del grupo.

La Figura 4.58 muestra el aspecto que presentan los fragmentos analizados

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.58 – Fragmentos de adobes (grupo SM-I)



- Análisis textural

En el grupo se observa la presencia mayoritaria de limo, seguido de arena de grano muy fino y fino (Gráfico 4.25). Los conglomerados poseen estructura homogénea con características de áridos granulares y arcillosos, de aspecto liso, aristas redondeadas y con pocas impurezas visibles. Los áridos están muy mal distribuidos en todas las muestras (Figura 4.59).

Gráfico 4.25 – Diámetro de áridos (mm) - SMI

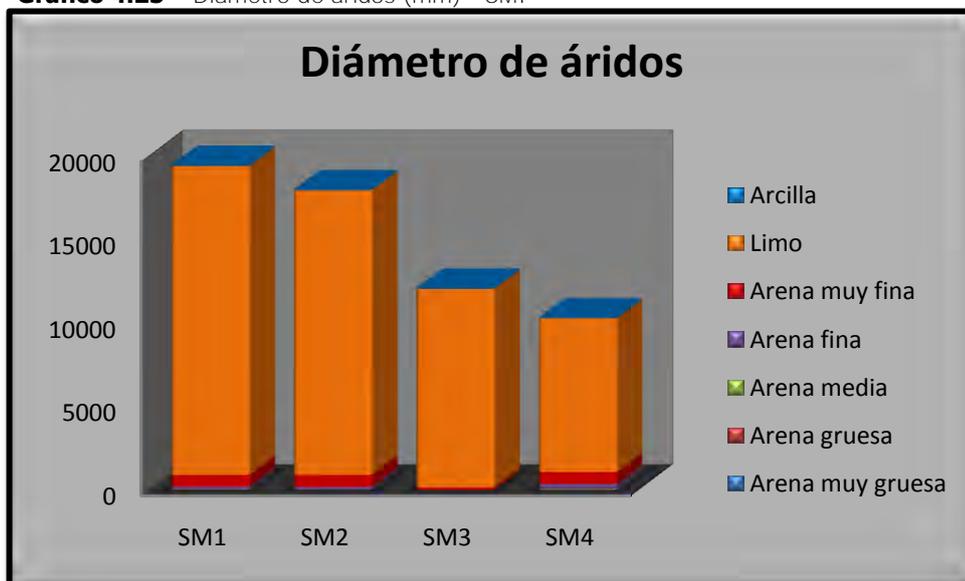
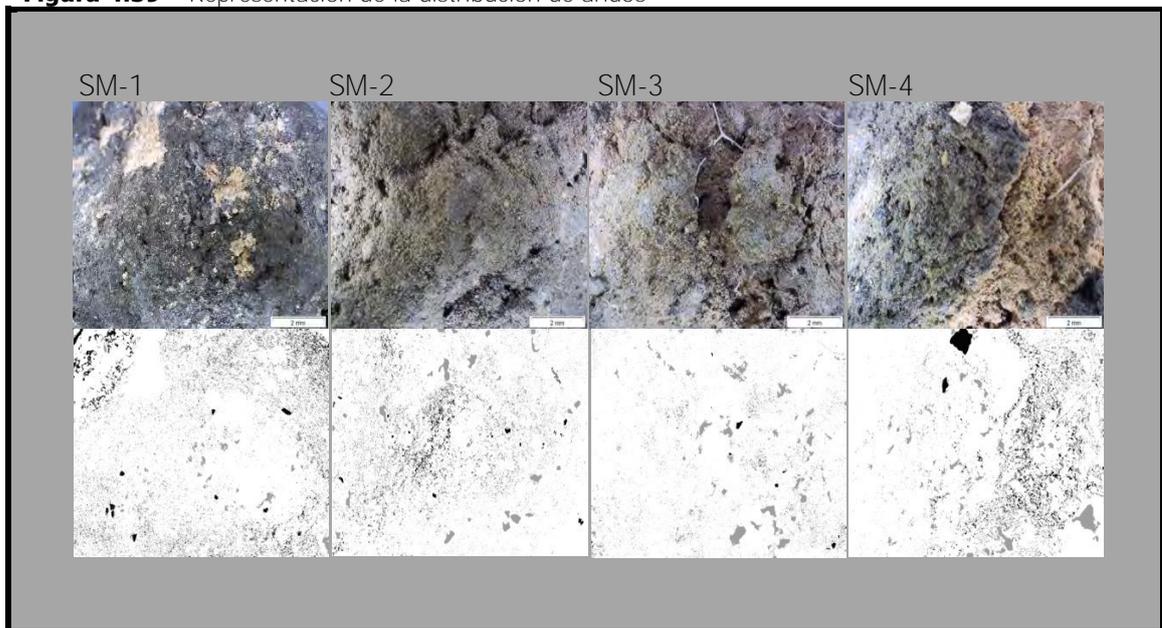


Figura 4.59 – Representación de la distribución de áridos



Existe predominio de poros de tamaño muy fino, seguidos de finos (Gráfico 4.26). En cuanto a la abundancia, los poros son pocos en SM-1, SM-2 y SM-4 y común en la muestra SM-3 (Tabla 4.60). En ese grupo encontramos abundantes perforaciones y moldes de posibles restos vegetales, que están dispuestos de modo aleatorio y tienen tamaños pequeños y medios. Los poros poseen la categoría preponderante de transmisión, seguido de la clase de enraizamiento y de canal (Gráfico 4.27). Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales, vesiculares, cavidades y canales, reafirmando la probable utilización de elementos vegetales en la mezcla para la fabricación de los adobes (véase Figura 4.59).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Gráfico 4.26 – Tamaños de poros (mm)

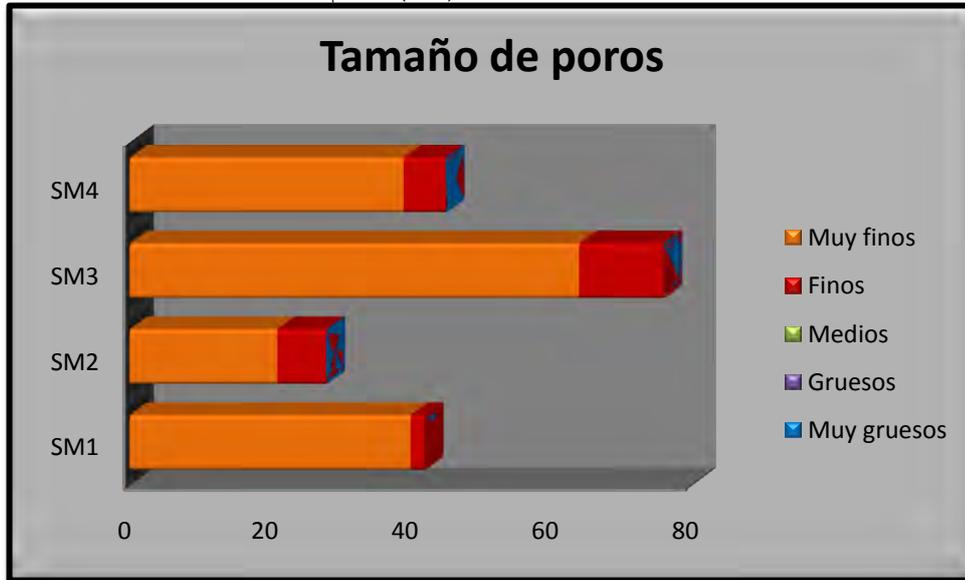
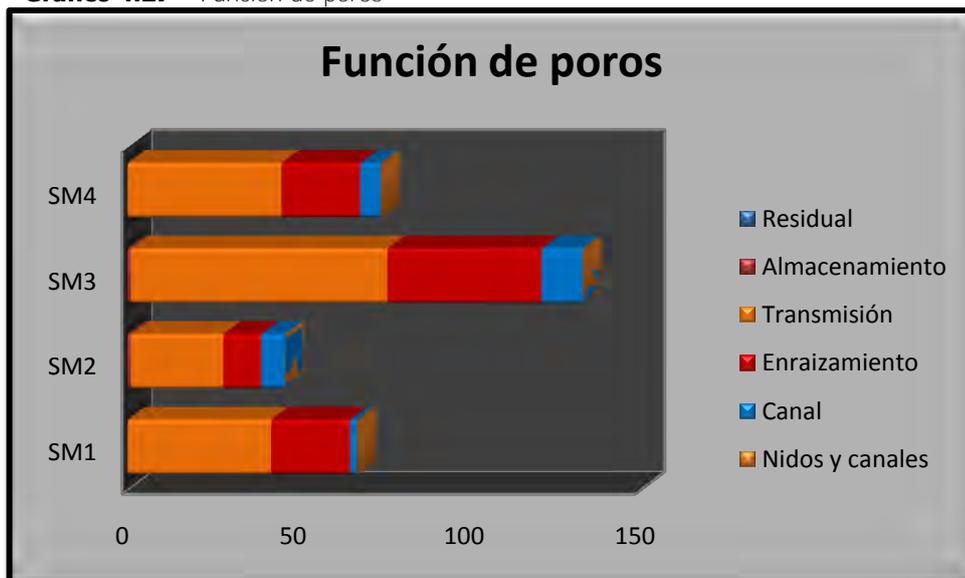


Tabla 4.60 – Número de poros por cm²

Abundancia	Pocos (20-50)	Comunes (50-200)
SM1	42	-
SM2	28	-
SM3	-	76
SM4	45	-

Gráfico 4.27 – Función de poros

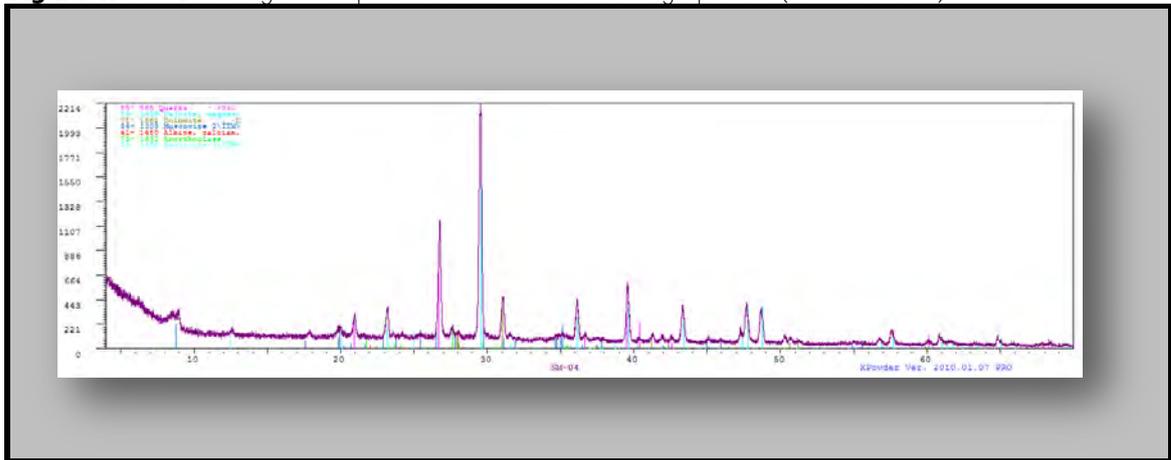


Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

- Estudio mineralógico

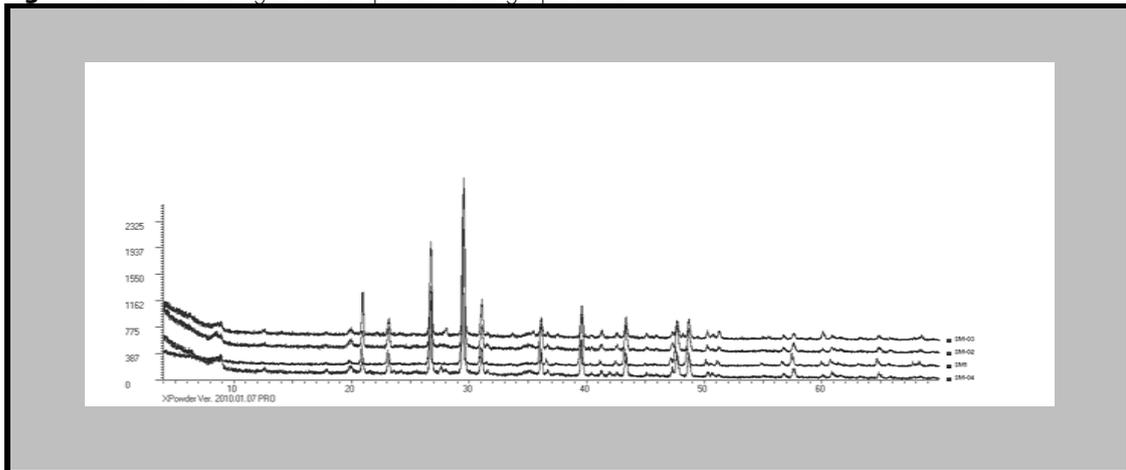
El difractograma recogido en la Figura 4.60 es representativo de la mineralogía de este grupo.

Figura 4.60 – Difractograma representativo de muestra del grupo SMI (muestra SM-4)



La Figura 4.61 recoge los difractogramas comparados de las distintas muestras.

Figura 4.61 – Difractograma comparativo del grupo SM-I



Las muestras están constituidas por carbonatos (calcita y dolomita), filosilicatos (tipo moscovita / illita y caolinita), tectosilicatos (cuarzo y feldespatos tipo anortoclase y albite). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.61.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

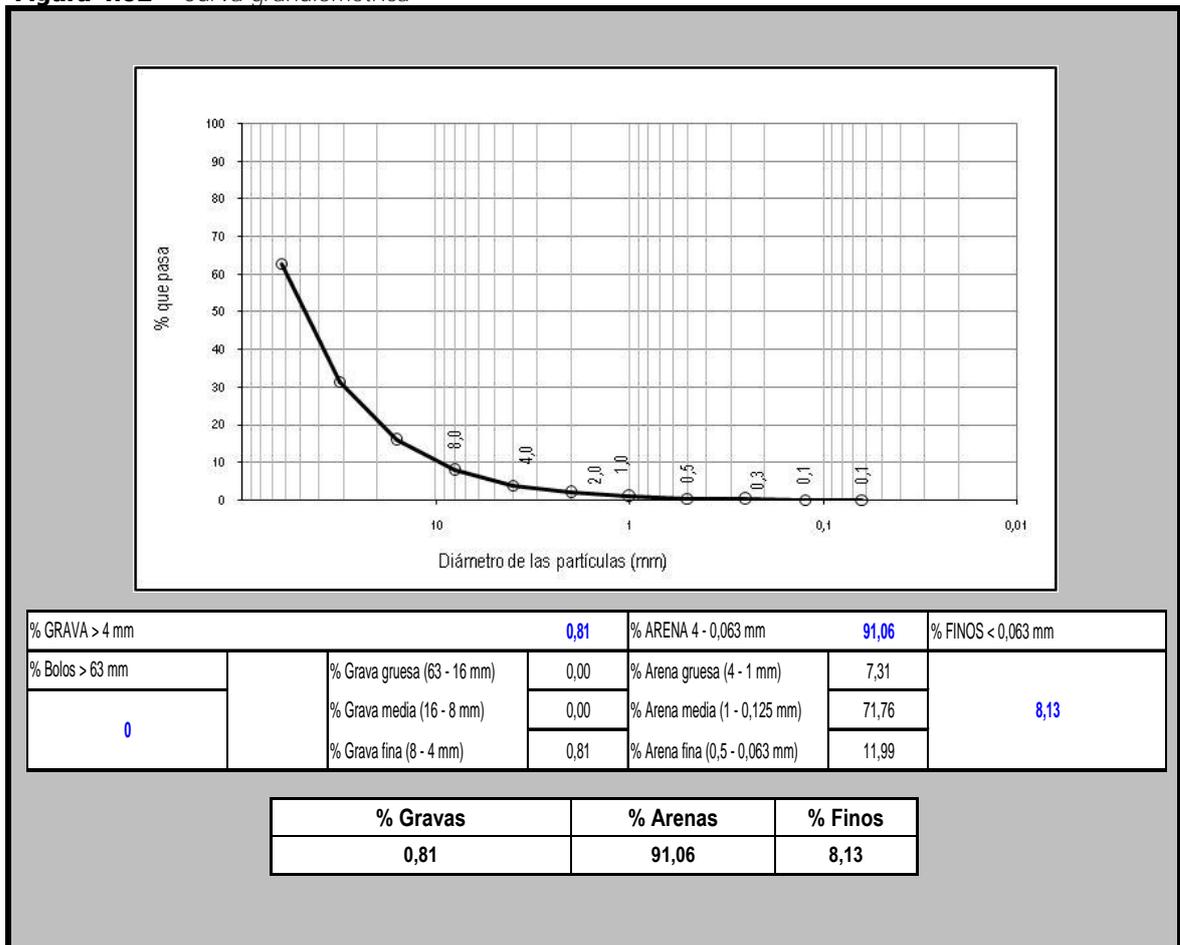
Tabla 4.61 – Composición mineralógica de adobes (%)

Muestras	SM1	SM2	SM3	SM4
Cuarzo	17	21	24	18
Calcita	52	38	27	26
Moscovita	12	33	28	27
Dolomita	15	08	08	06
Albita	00	00	08	06
Anortoclasa	00	00	00	13
Caolinita	04	00	05	04

- Ensayo granulométrico

Las muestras están compuestas por mayoría de arena media, seguida por arena fina (Figura 4.62).

Figura 4.62 – Curva granulométrica



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

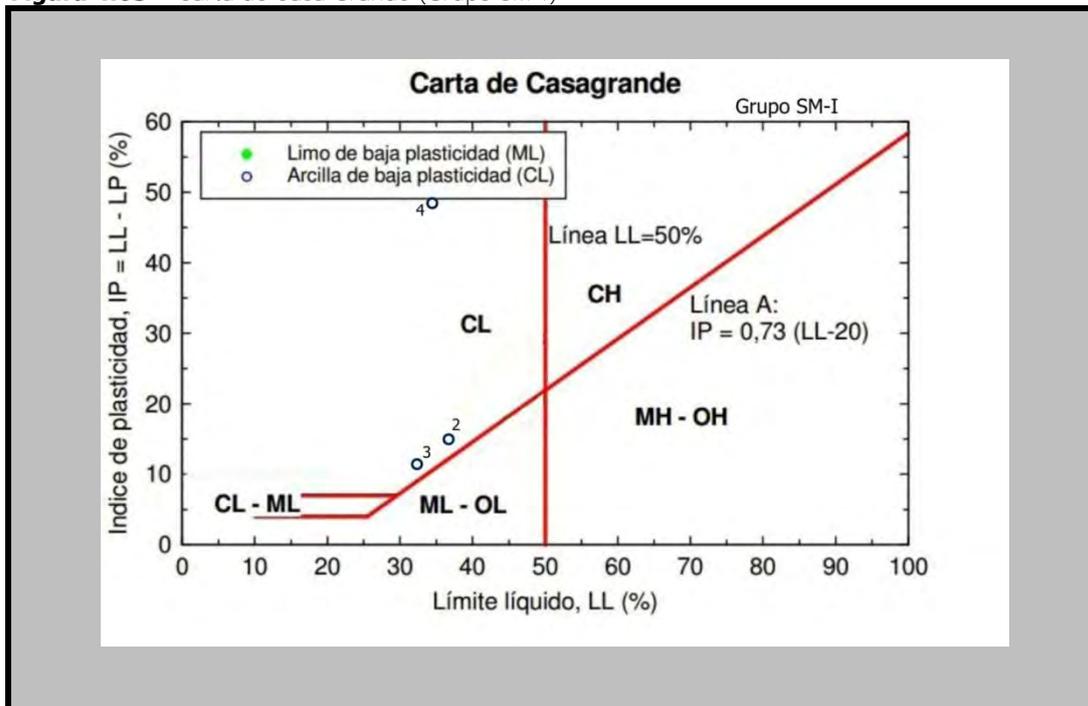
- Ensayo para determinación de límites de Atterberg

La Tabla 4.62 y la Figura 4.63 recogen los índices de Atterberg de las muestras del grupo. Se puede ver que la arcilla de baja plasticidad (CL) es predominante.

Tabla 4.62– Límites de Atterberg

Resultado del ensayo				
Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Clasificación
SM2	36.4	21.37	15.03	CL
SM3	33.05	21.06	11.99	CL
SM4	53.03	17.91	35.12	CL

Figura 4.63 – Carta de Casa Grande (Grupo SM-I)



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo SMI comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios la cal (CaO – 32,92 a 35,34 % en peso), la sílice (SiO_2 – 20,25 a 21,9 % en peso) y el aluminio (Al_2O_3 – 6,5 a 7,08 % en peso); mientras que los componentes minoritarios son el óxido de magnesio (MgO – 2,53 a 2,93 % en peso), compuestos de hierro (Fe_2O_3 – 2,3 a 2,26 % en peso) , feldspatos ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), micas (óxidos de silicio y aluminio ligados a potasio, hierro y magnesio), compuestos dióxido de titanio (TiO_2), óxido de fósforo (P_2O_5) y óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 30,4 a 31,1 % en peso. Como elementos traza con concentración superior a 100 PPM se puede ver el bario (Ba), el cloro (Cl), el estroncio (Sr), el Cobre (Cu), el zirconio (Zr) y el zinc (Zn). Además de pequeñas cantidades de cromo (Cr), rubidio (Rb), níquel (Ni), bromo (Br), yodo (I) y galio (Ga).

Las Tablas 4.63 y 4.64 representan la composición química del grupo.

Tabla 4.63 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	SO_3	LOI
Muestras	%											
SM1	20,25	6,78	2,05	0,03	2,53	35,34	0,10	1,20	0,40	0,07	0,10	31,1
SM3	20,60	6,50	2,26	0,04	2,80	35,01	0,20	1,20	0,40	0,08	0,10	30,8
SM4	21,90	7,08	2,30	0,03	2,93	32,92	0,20	1,60	0,30	0,07	0,19	30,4

Tabla 4.64 - Composición química de los elementos traza

Composición química			
Muestras	SM1	SM3	SM4
Elementos	PPM		
S	400	485	740
Cl	130	367	513
Cr	56	56	57
Ni	23	28	26
Cu	50	292	170
Zn	31	132	81
Ga	0	0	8
Br	8	15	9

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Rb	40	46	55
Sr	271	272	282
Zr	124	141	97
I	0	49	0
Ba	324	244	232

Los índices de hidraulicidad del grupo están representados en la Tabla 4.65 que indican que las muestras del grupo tienen características de cemento rápido (CR).

Tabla 4.65 - Índice de hidraulicidad

Muestras	Índice de hidraulicidad	Clasificación
SM1	0,74	CR
SM3	0,74	CR
SM4	0,83	CR

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

4.6. Yacimiento de Costa Capellans

En este yacimiento se han estudiado 5 muestras de mortero del tipo estuco. Se trata de fragmentos con dimensiones de 3 cm y tonalidades que van del blanco rosáceo a marrón claro (Tabla 4.66).

Tabla 4.66 – Coordenadas cromáticas de Costa Capellans

Muestra	Munsell	Colorimetría		
		L	a	b
CC-1	10YR 8/3 VERY PALE BROWN	68,58	5,61	17,49
CC-2	7.5YR 8/2 PINKISH WHITE	82,79	2,29	9,85
CC-3	7.5YR 8/2 PINKISH WHITE	82,58	2,32	9,78
CC-4	7.5YR 8/2 PINKISH WHITE	82,55	2,43	10,00
CC-5	7.5YR 8/2 PINKISH WHITE	72,45	4,61	15,79

En base a su naturaleza, composición mineralógica y características texturales, se diferencian tres grupos de muestras que son los siguientes:

❖ Grupo CC-I

Formado por 1 muestra de mortero del tipo estuco, este grupo se caracteriza por presentar cuarzo, calcita y moscovita como componentes minerales mayoritarios y textura general porosa y granular.

El grupo está compuesto de fragmento con morfología irregular, de estructura compacta y sin presencia visible de material orgánico. No posee diferencias de color y textura.

La Figura 4.64 muestra el aspecto que presenta el fragmento analizado.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

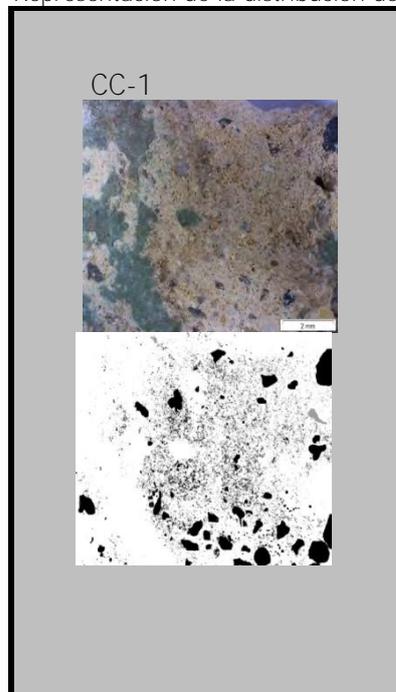
Figura 4.64 – Fragmento de estuco (grupo CC-1)



- Análisis textural

En el grupo se observa la presencia de mayoritaria de limo (89%), seguido de arena de grano muy fino (7%), fino (3%) y medio (1%). Los conglomerados poseen estructura heterogénea con características de áridos granulares, de aspecto liso, aristas redondeadas y con pocas impurezas visibles. Los áridos están moderadamente distribuidos (Figura 4.65).

Figura 4.65 – Representación de la distribución de áridos



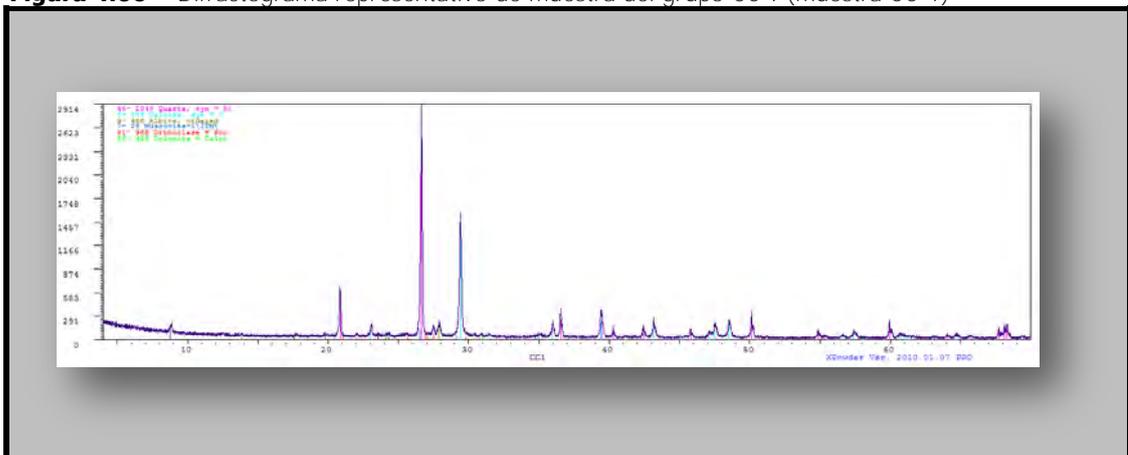
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Existe predominio de poros de tamaño muy fino (67%), seguidos de finos (33%). En cuanto a la abundancia, los poros son muy poco (3 por cm^2). No se encuentran perforaciones ni moldes de restos vegetales. Los poros poseen la categoría de transmisión en el 100% del grupo, seguido de la clase de enraizamiento y de canal (33%), respectivamente. Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales y vesiculares, mostrando una improbable utilización de elementos vegetales en la mezcla para la fabricación de los estucos (Figura 4.65).

- Estudio mineralógico

El difractograma recogido en la Figura 4.66 es representativo de la mineralogía de este grupo.

Figura 4.66 – Difractograma representativo de muestra del grupo CC-I (muestra CC-1)



La muestra está constituida por carbonatos (calcita y dolomita), filosilicatos (tipo moscovita / illita) y tectosilicatos (cuarzo y feldespatos tipo ortoclasa y albita). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.67.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.67 – Composición mineralógica de estuco (%)

Muestra	CC1
Cuarzo	34
Calcita	31
Moscovita	23
Dolomita	03
Albita	05
Ortoclasa	04

En ese grupo no ha sido posible aplicar las técnicas de granulometría, límites de Atterberg por tener cantidad insuficiente para los ensayos.

- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo CC-I comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios la sílice (SiO_2 – 53,71 % en peso), la cal (CaO – 20,83 % en peso) y el aluminio (Al_2O_3 – 5,62 % en peso); mientras que los componentes minoritarios son los compuestos de hierro (Fe_2O_3 – 1,46 % en peso), feldspatos ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), óxido de magnesio (MgO – 0,79 % en peso), micas, compuestos de dióxido de titanio (TiO_2), óxido de fósforo (P_2O_5) y óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 16,93 % en peso. Como elementos traza de concentración superior a 100 PPM se puede ver el estroncio (Sr), el zirconio (Zr).

Las Tablas 4.68 y 4.69 representan la composición química del grupo.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.68 - Composición química de los óxidos

Composición química											
Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI
Muestras	%										
CC1	53,71	5,62	1,46	0,03	0,79	20,83	0,74	1,49	0,28	0,22	16,93

Tabla 4.69 - Composición química de los elementos traza

Composición química	
Muestras	CC1
Elementos	PPM
Sr	231
Zr	177

Los índices de hidraulicidad del grupo están representados en la Tabla 4.70 que indican que las muestras del grupo tienen características de cemento rápido (CR)

Tabla 4.70 - Índice de hidraulicidad

Muestra	Índice de hidraulicidad	Clasificación
CC1	2,55	CR

❖ Grupo CC-II

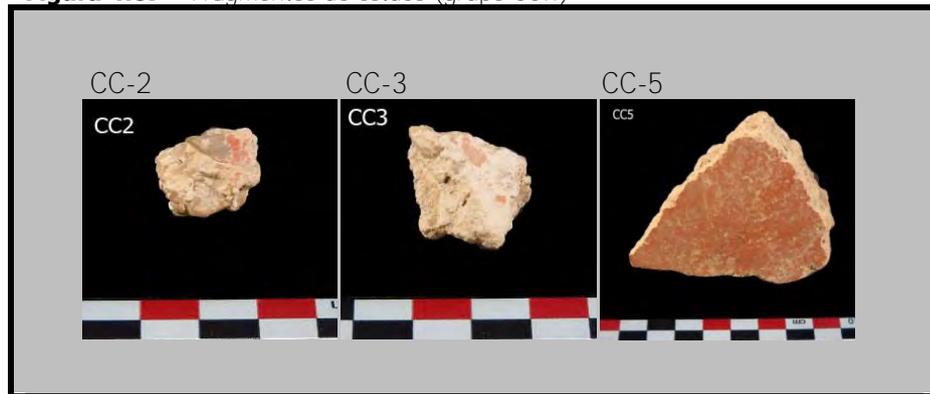
Formado por 3 muestras de mortero del tipo estuco, este grupo se caracteriza por presentar calcita y cuarzo como componentes minerales mayoritarios y textura general maciza y lisa.

El grupo está compuesto de fragmentos con morfología irregular, de estructura compacta y sin presencia visible de material orgánico. No posee diferencias de color y textura.

La Figura 4.67 muestra el aspecto que presentan los fragmentos analizados.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.67 – Fragmentos de estuco (grupo CCII)



- Análisis textural

En el grupo se observa la presencia de mayoría de limo, seguido de arena de grano muy fino y fino (Gráfico 4.28). Los conglomerados poseen estructura heterogénea con características de áridos granulares, de aspecto liso, aristas redondeadas y con pocas impurezas visibles. Los áridos tienen distribución moderada en CC-05, mal distribuidos CC-02 y CC-03 (Figura 4.68).

Gráfico 4.28 – Diámetro de áridos (mm) - CCII

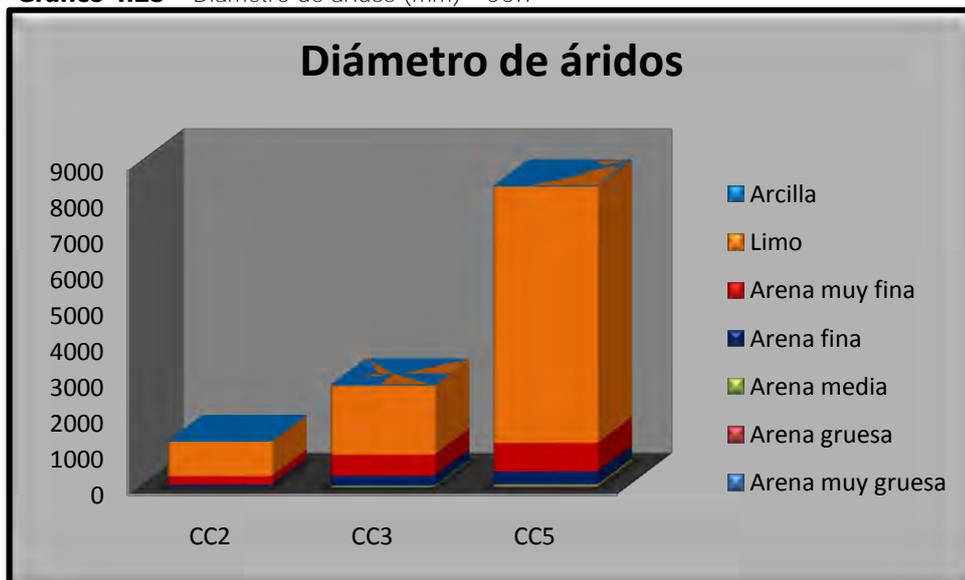
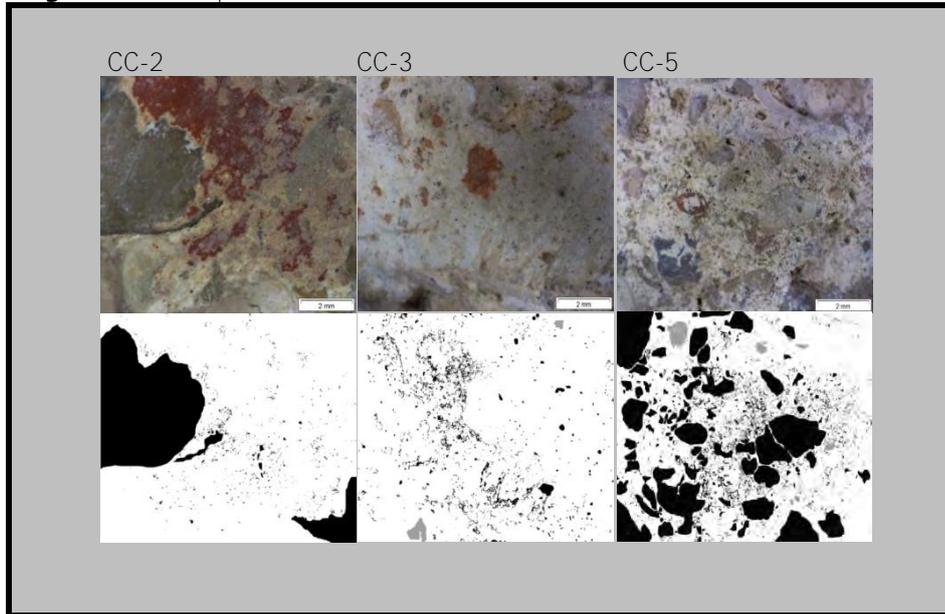


Figura 4.68 – Representación de la distribución de áridos



Existe predominio de poros de tamaño muy fino, seguidos de finos (Gráfico 4.29). En cuanto a la abundancia, los poros son muy poco en todas las muestras (Tabla 4.71). No se encuentran perforaciones ni moldes de restos vegetales. Los poros poseen la categoría preponderante de transmisión, seguido de la clase de enraizamiento y de canal (Gráfico 4.30). Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales y vesiculares, mostrando una improbable utilización de elementos vegetales en la mezcla para la fabricación de los estucos (Figura 4.68).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Gráfico 4.29 – Tamaños de poros (mm)

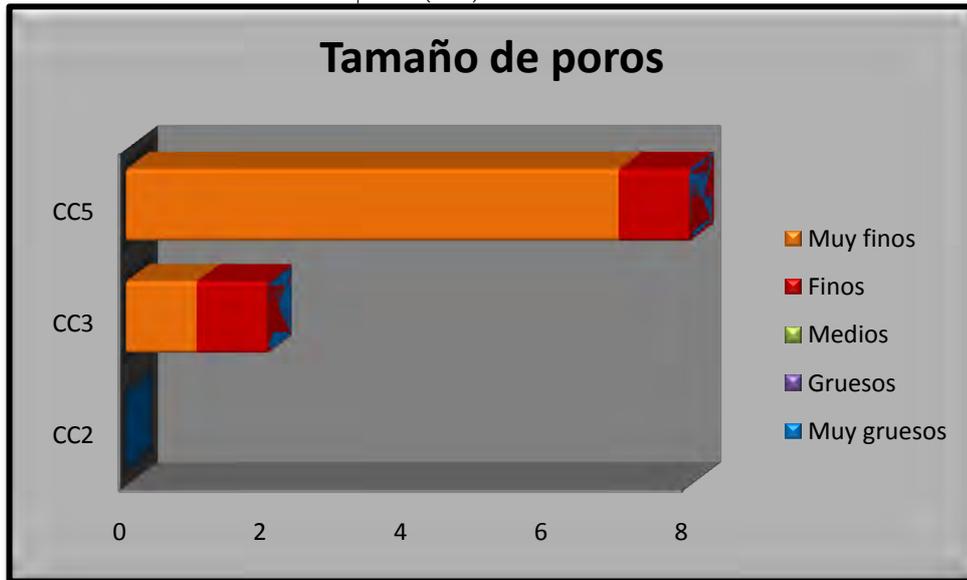
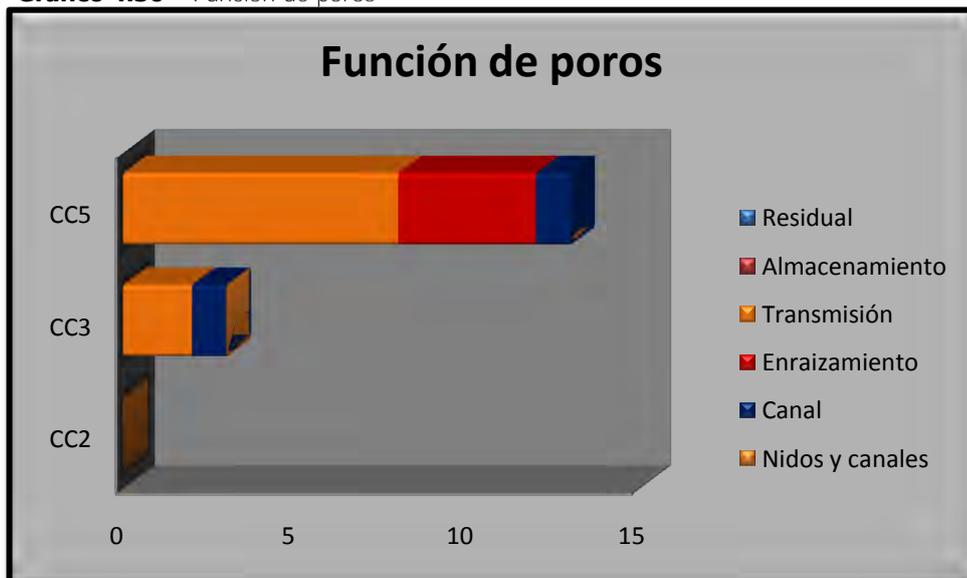


Tabla 4.71 – Número de poros por cm²

Abundancia	Muy pocos (1-20)
CC2	-
CC3	2
CC5	8

Gráfico 4.30 – Función de poros

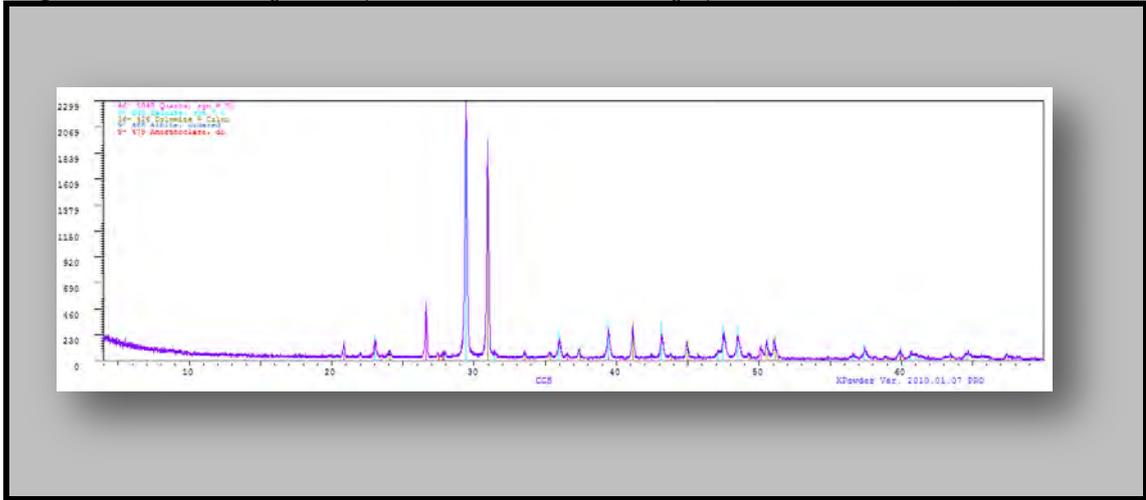


Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

- Composición mineral

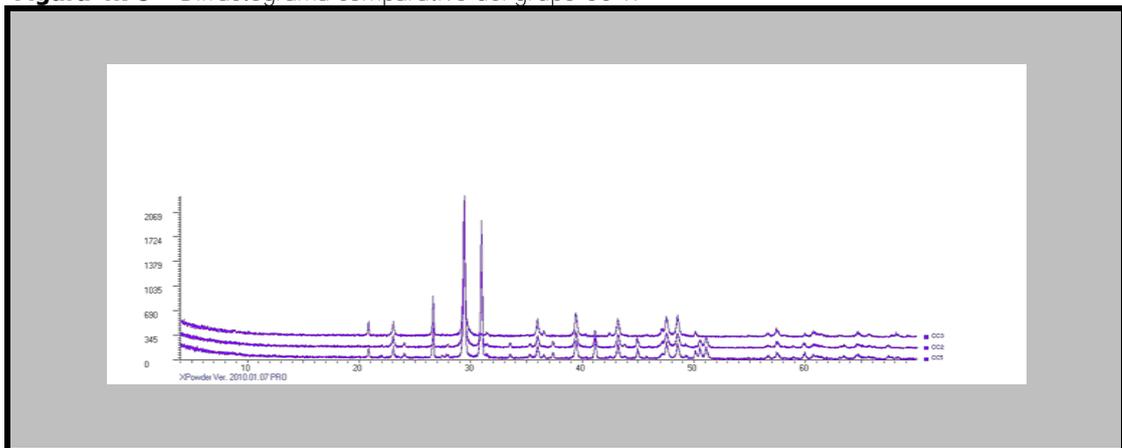
El difractograma recogido en la Figura 4.69 es representativo de la mineralogía de este grupo.

Figura 4.69 – Difractograma representativo de muestra del grupo CC-II (muestra CC-5)



La Figura 4.70 recoge los difractogramas comparados de las distintas muestras.

Figura 4.70 – Difractograma comparativo del grupo CC-II



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Las muestras están constituidas por carbonatos (calcita y dolomita), tectosilicatos (cuarzo y feldespatos tipo anortoclasa y albita). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.72.

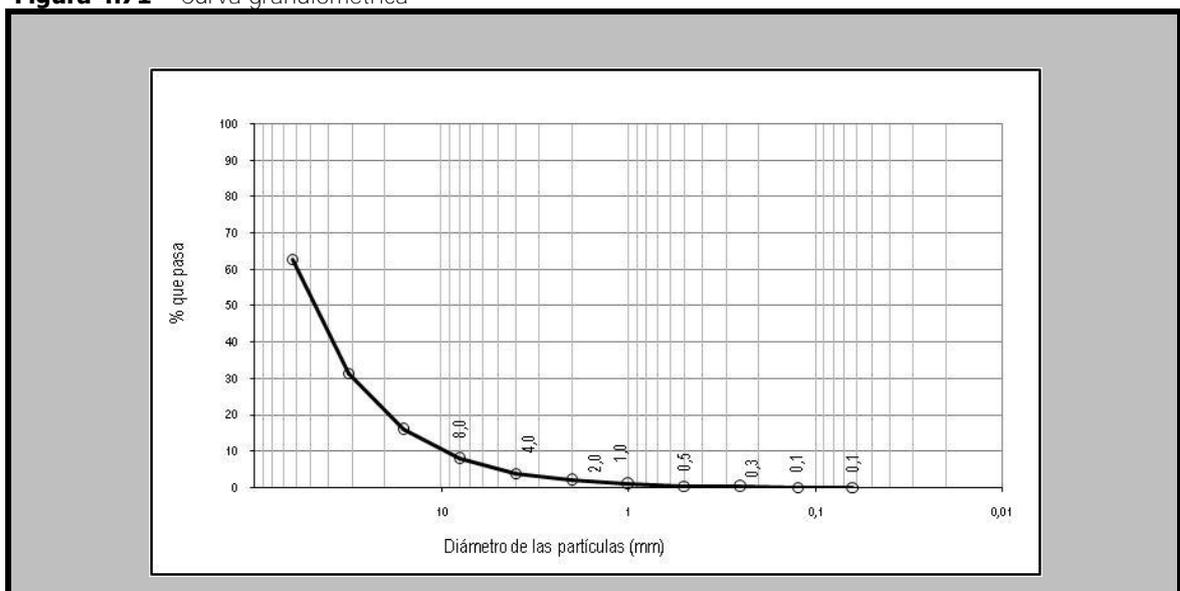
Tabla 4.72 – Composición mineralógica de adobes (%)

Muestras	CC2	CC3	CC5
Cuarzo	02	15	05
Calcita	39	80	34
Dolomita	57	05	58
Albita	02	00	01
Anortoclasa	00	00	02

- Ensayo granulométrico

Las muestras están compuestas por mayoría de arena gruesa, seguida de arena media (Figura 4.71).

Figura 4.71 – Curva granulométrica



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

% GRAVA > 4 mm		11,18	% ARENA 4 - 0,063 mm		84,21	% FINOS < 0,063 mm	
% Bolos > 63 mm		% Grava gruesa (63 - 16 mm)	0,00	% Arena gruesa (4 - 1 mm)	36,83	4,61	
0		% Grava media (16 - 8 mm)	0,00	% Arena media (1 - 0,125 mm)	38,34		
		% Grava fina (8 - 4 mm)	11,18	% Arena fina (0,5 - 0,063 mm)	9,04		
% Gravas		% Arenas		% Finos			
11,18		84,21		4,61			

Los límites de Atterberg del grupo CC-II fueron nulos. Un poco por la gran incidencia de cal en las muestras y también por la cantidad limitada de material para el ensayo.

- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo CC-II comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios la cal (CaO – 44,54 a 48,97 % en peso), la sílice (SiO_2 – 9,4 a 17,82 % en peso), el óxido de magnesio (MgO – 1,56 a 4,88 % en peso) y el aluminio (Al_2O_3 – 2 % en peso); mientras que los componentes minoritarios son los compuestos de hierro (Fe_2O_3), feldspatos ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), micas, compuestos de dióxido de titanio (TiO_2), óxido de fósforo (P_2O_5) y óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 35,53 a 36,7 % en peso. Como elementos traza con concentración superior a 100 PPM se puede ver el cloro (Cl), el estroncio (Sr), el bario (Ba). Además de pequeñas cantidades de Cobre (Cu), cromo (Cr), zirconio (Zr), zinc (Zn) y níquel (Ni).

Las Tablas 4.73 y 4.74 representan la composición química del grupo.

Tabla 4.73 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	SO_3	LOI
Muestras	%											
CC3	17,82	2,08	0,95	0,03	1,56	48,97	0,16	0,42	0,17	0,27	00	35,53
CC5	9,40	2,22	0,80	0,02	4,88	44,54	0,24	0,54	0,08	0,23	0,17	36,7

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.74 - Composición química de los elementos traza

Composición química		
Muestras	CC3	CC5
Elementos	PPM	
S	0	690
Cl	0	903
Cr	0	59
Ni	0	15
Cu	0	65
Zn	0	41
Sr	365	204
Zr	79	33
Ba	0	107

Los índices de hidraulicidad del grupo están representados en la Tabla 4.75 que indican que las muestras del grupo tienen características de pasta entre medianamente hidráulica (MH) y propiamente hidráulica (PH).

Tabla 4.75 - Índice de hidraulicidad

Muestras	Índice de hidraulicidad	Clasificación
CC3	0,41	PH
CC5	0,25	MH

❖ Grupo CC-III

Formado por 1 muestra de mortero del tipo revestimiento, este grupo se caracteriza por presentar calcita y cuarzo como componentes minerales mayoritarios y textura general porosa y lisa.

El grupo está compuesto de fragmento con morfología irregular, de estructura compacta y sin presencia visible de material orgánico. No posee diferencias de color y textura.

La Figura 4.72 muestra el aspecto que presenta el fragmento analizado.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

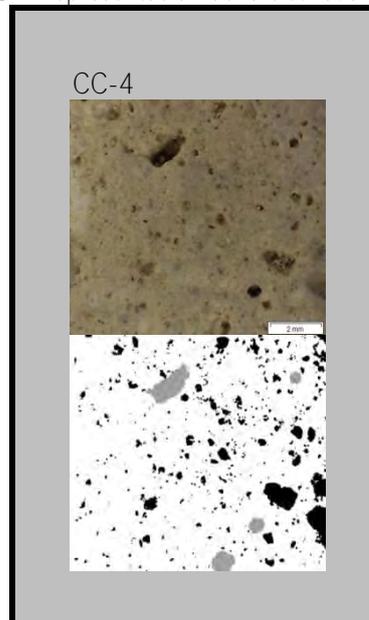
Figura 4.72 – Fragmento de pared (grupo CC-III)



- Análisis textural

En el grupo se observa la presencia de mayoría de arena fina (38%), seguido de arena de grano muy fino (32%), limo (18%), medio (9%) y grueso (3%). Los conglomerados poseen estructura heterogénea con características de áridos granulares, de aspecto liso, aristas redondeadas y con pocas impurezas visibles. Los áridos están moderadamente distribuidos (véase Figura 4.73).

Figura 4.73 – Representación de la distribución de áridos



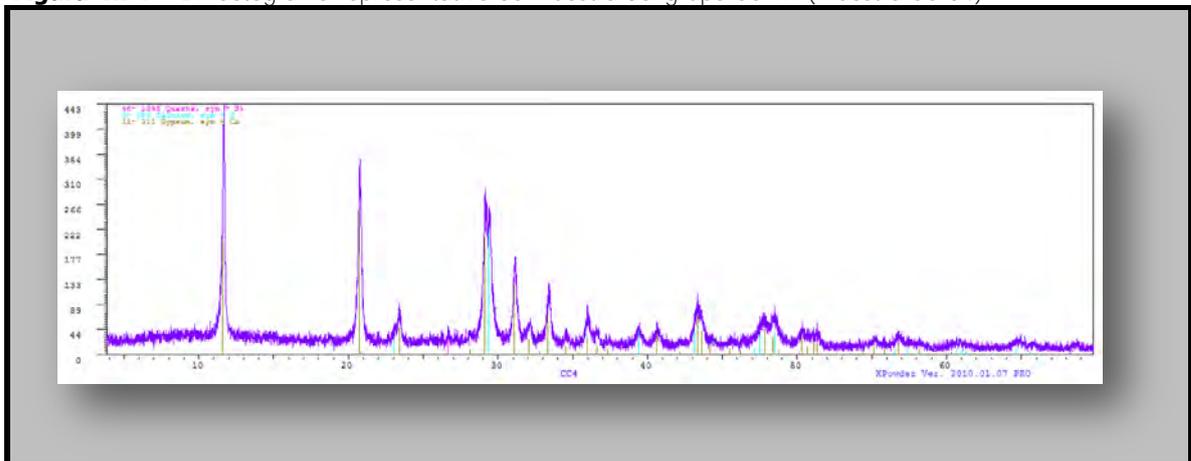
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

La totalidad de poros es de tamaño fino. En cuanto a la abundancia, los poros son muy poco (4 por cm^2). No se encuentran perforaciones ni moldes de restos vegetales. Los poros poseen la categoría de transmisión en 100% del grupo, seguido de la clase de canal. Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales y vesiculares, mostrando un improbable uso de elementos vegetales en la mezcla para la fabricación de los estucos (Figura 4.73).

- Estudio mineralógico

El difractograma recogido en la Figura 4.74 es representativo de la mineralogía de este grupo.

Figura 4.74 – Difractograma representativo de muestra del grupo CC-III (muestra CC-04)



La muestra está constituida por carbonatos (calcita), tectosilicatos (cuarzo) y sulfato (yeso). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.76.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.76 – Composición mineralógica de estuco (%)

Muestra	CC4
Cuarzo	03
Calcita	61
Yeso	36

En ese grupo no ha sido posible aplicar las técnicas de granulometría, límites de Atterberg y fluorescencia de rayos X por tener cantidad insuficiente para los ensayos.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

4.7 Yacimiento de Villa de Barrugat

En este yacimiento se han estudiado 7 muestras, siendo 5 de adobes y 2 de mortero (1 de revestimiento y 1 de encañizado). Se trata de fragmentos con dimensiones entre 3 a 10 cm y tonalidades que van de gris rosáceo al blanco, pasando por gris claro, rojo claro, rosáceo claro y blanco rosáceo (Tabla 4.77).

Tabla 4.77 – Coordenadas cromáticas de Villa de Barrugat

Muestra	Munsell	Colorimetría		
		L	a	b
B-1	5YR 7/2 PINKISH GRAY	68,30	6,07	15,34
		72,59	8,48	19,36
B-2	7.5YR 7/3 PINK	64,32	8,65	22,28
B-3	7.5YR 7/3 PINK	59,54	5,81	18,36
B-4	10YR 7/2 LIGHT GRAY	59,53	12,18	19,29
B-5	2.5YR 6/6 LIGHT RED	76,57	1,64	7,75
B-7	7.5YR 8/1 WHITE	77,55	13,14	13,21
B-8	7.5YR 8/2 PINKISH WHITE			

En base a su naturaleza, composición mineralógica y características texturales, se diferencian cuatro grupos de muestras que son los siguientes:

❖ Grupo B-I

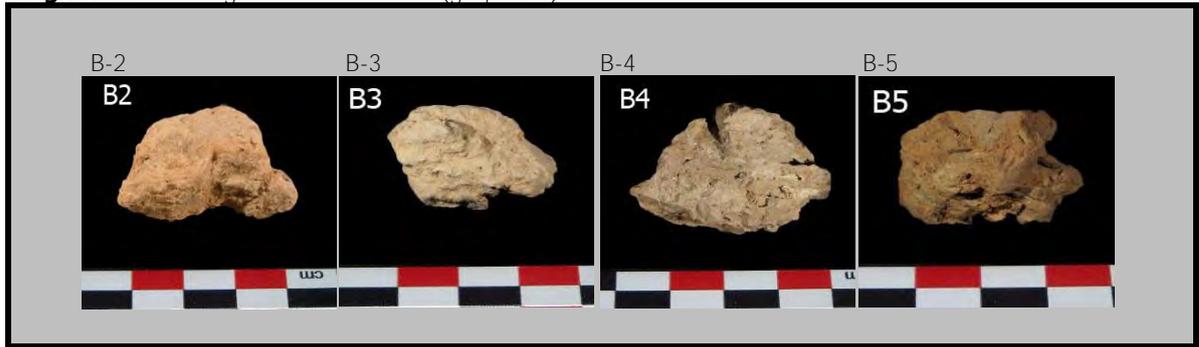
Formado por 4 muestras de adobe, este grupo se caracteriza por presentar cuarzo, calcita y moscovita como componentes minerales mayoritarios y textura general porosa y granular.

El grupo está compuesto de fragmentos con morfología irregular, de estructura muy poco compacta y sin presencia visible de material orgánico. Poseen pequeñas diferencias de color y textura, aunque sin llegar a constituir tipos diferenciados respecto a las características generales del grupo.

La Figura 4.75 muestra el aspecto que presentan los fragmentos analizados

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

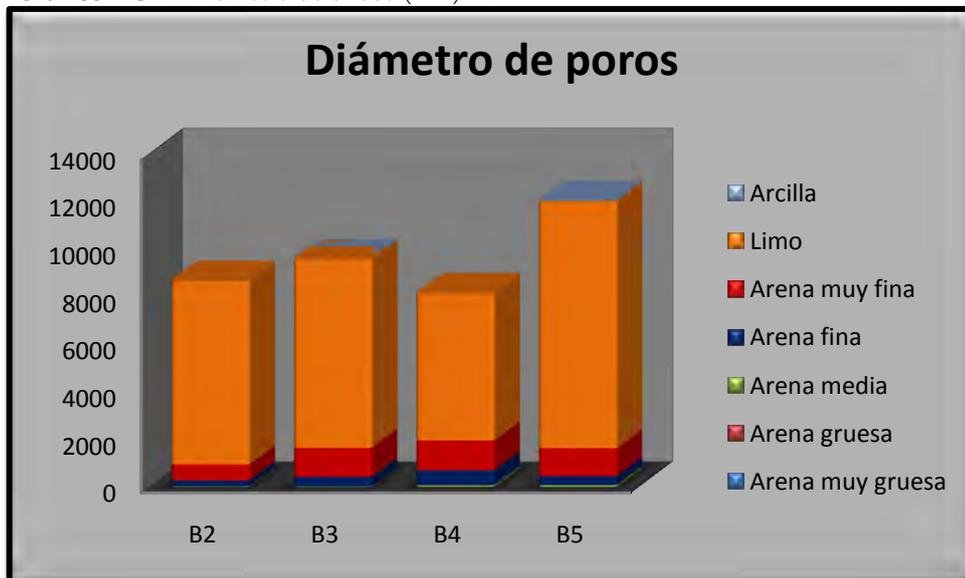
Figura 4.75 – Fragmentos de adobes (grupo B-I)



- Análisis textural

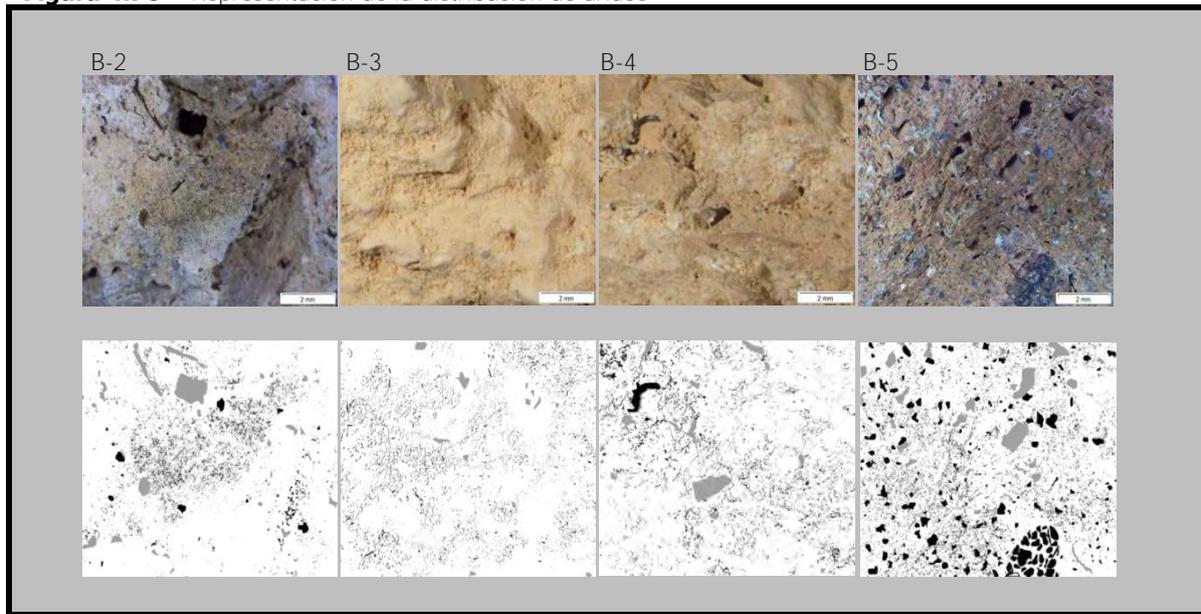
En el grupo se observa la presencia de mayoritaria de limo, seguido de arena de grano muy fino y fino (Gráfico 4.31). Los conglomerados poseen estructura heterogénea con características de áridos granulares y arcillosos, de aspecto liso, aristas redondeadas y con pocas impurezas visibles. Los áridos están bien distribuidos en B5 y mal distribuidos en las demás muestras (Figura 4.76).

Gráfico 4.31 – Diámetro de áridos (mm) - BI



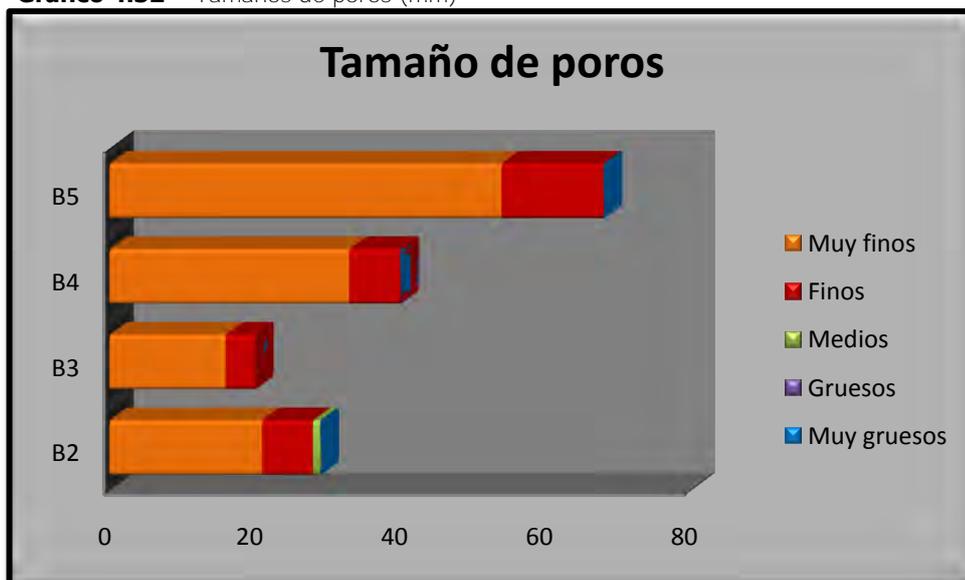
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.76 – Representación de la distribución de áridos



Existe predominio de poros de tamaño muy fino, seguidos de finos (Gráfico 4.32). En cuanto a la abundancia, muy poco en la muestra B-3, poco en las muestras B-2 y B-4, y común en B-5 (Tabla 4.78). En ese grupo se encuentran abundantes perforaciones y moldes de posibles restos vegetales, que están dispuestos de modo aleatorio y tienen tamaños pequeños y medios. Los poros poseen la categoría preponderante de transmisión, seguido de la clase de enraizamiento y de canal (Gráfico 4.33). Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales, vesiculares, cavidades y canales, reafirmando la probable utilización de elementos vegetales en la mezcla para la fabricación de los adobes (Figura 4.76).

Gráfico 4.32 – Tamaños de poros (mm)

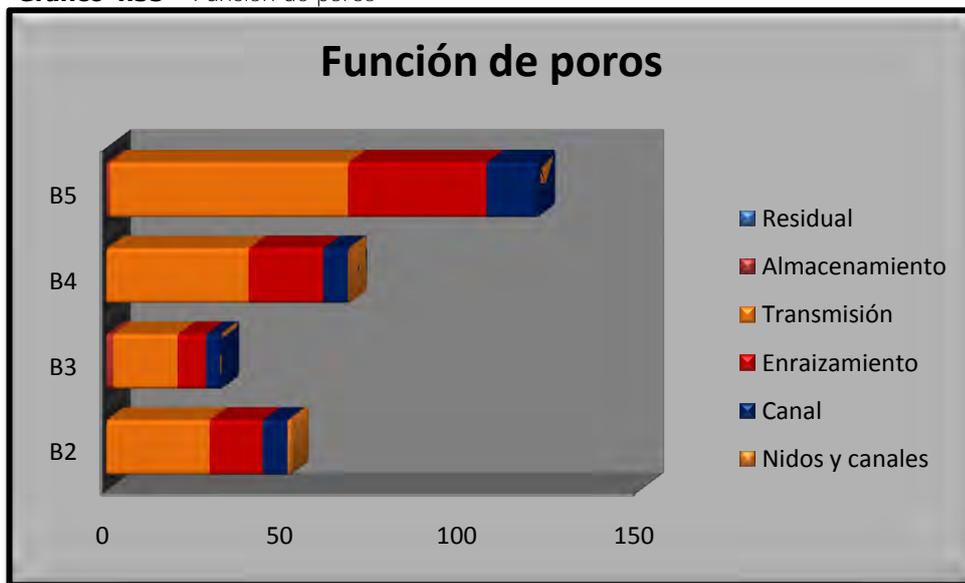


Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.78– Número de poros por cm^2 - BI

Abundancia	Muy pocos (1-20)	Pocos (20-50)	Comunes (50-200)
B2	-	29	-
B3	20	-	-
B4	-	40	-
B5	-	-	68

Grafico 4.33 – Función de poros

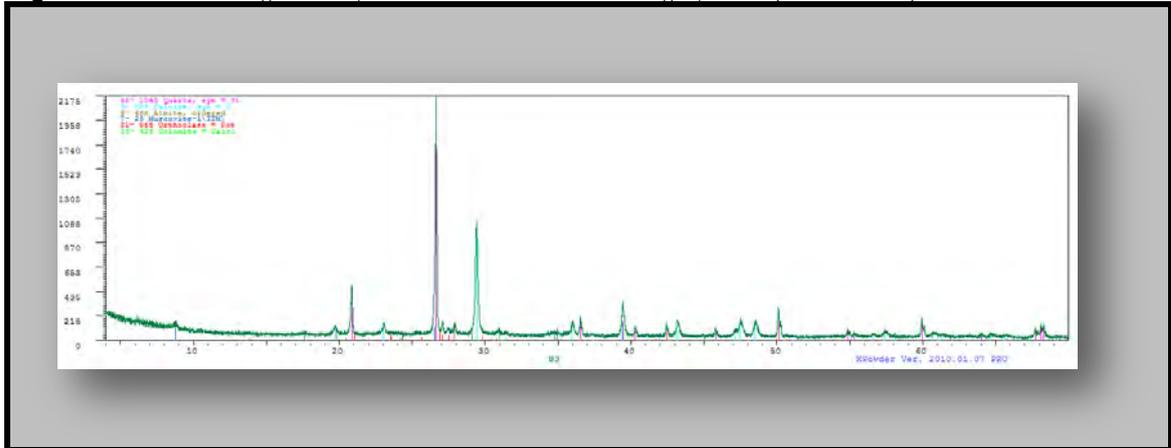


- Estudio mineralógico

El difractograma recogido en la Figura 4.77 es representativo de la mineralogía de este grupo.

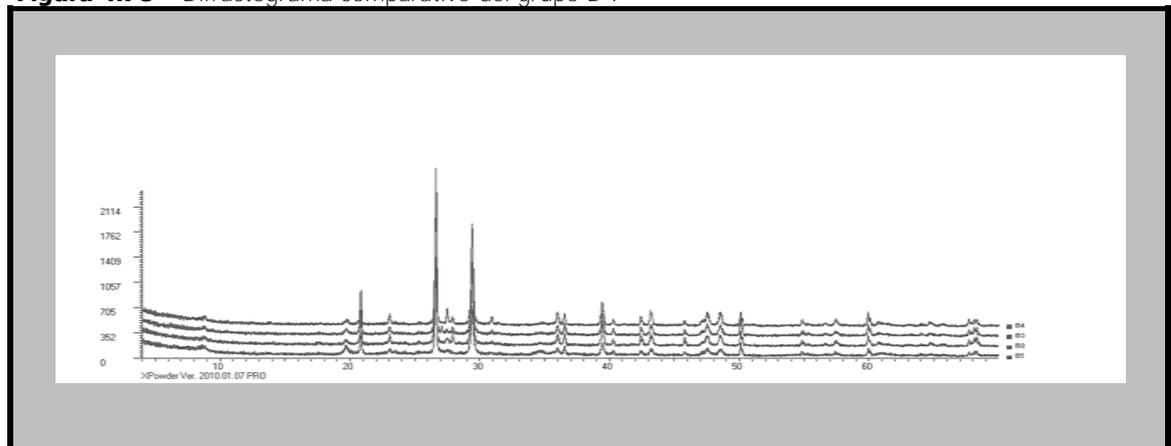
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.77 – Difractograma representativo de muestra del grupo B-I (muestra B-3)



La Figura 4.78 recoge los difractogramas comparados de las distintas muestras.

Figura 4.78 – Difractograma comparativo del grupo B-I



Las muestras están constituidas por carbonatos (calcita y dolomita), filosilicatos (tipo moscovita / illita), tectosilicatos (cuarzo y feldespatos tipo ortoclasa y albita). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.79.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

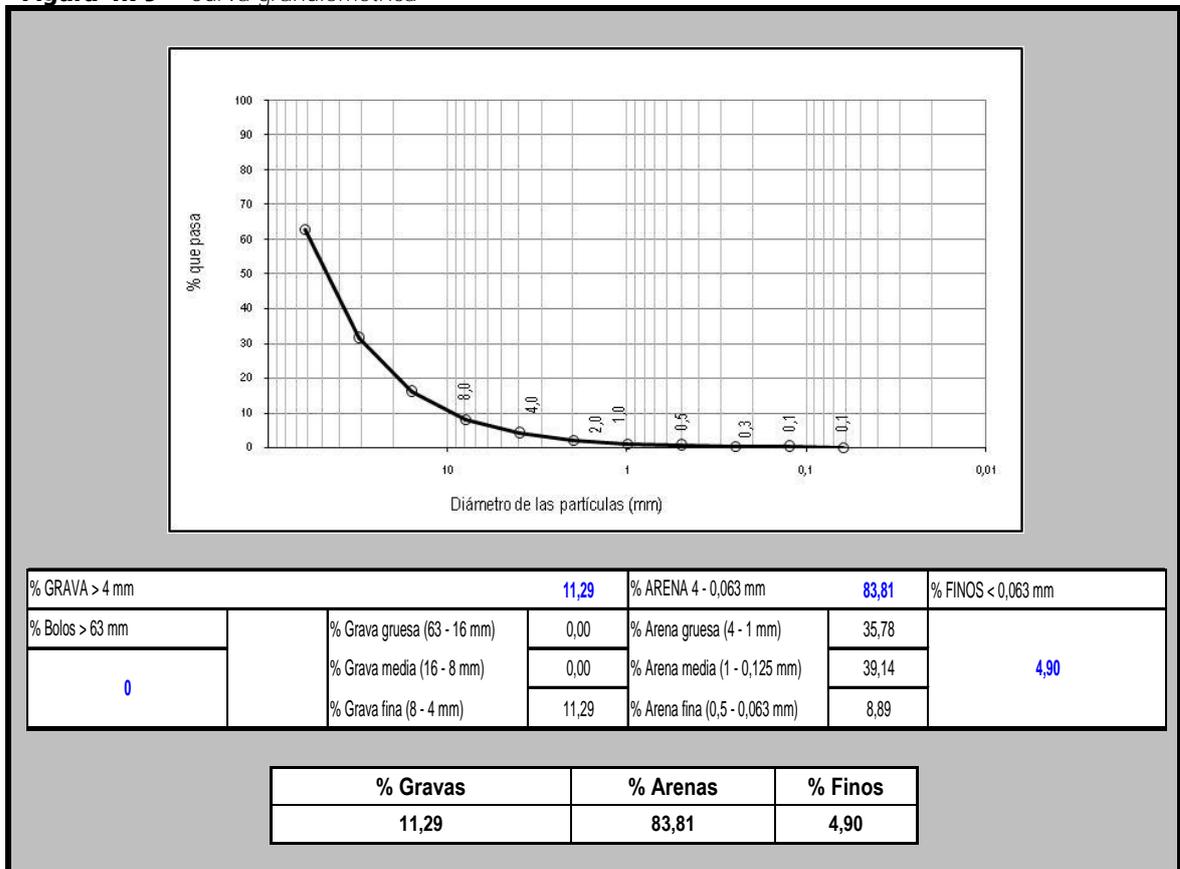
Tabla 4.79 – Composición mineralógica de adobes (%)

Muestras	B2	B3	B4	B5
Cuarzo	31	33	29	32
Calcita	26	27	32	28
Moscovita	29	26	25	29
Dolomita	05	06	07	00
Albita	05	04	03	00
Ortoclasa	04	04	04	11

- Ensayo granulométrico

Las muestras están compuestas por mayoría de arena gruesa, seguida por arena media (Figura 4.79).

Figura 4.79 – Curva granulométrica



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

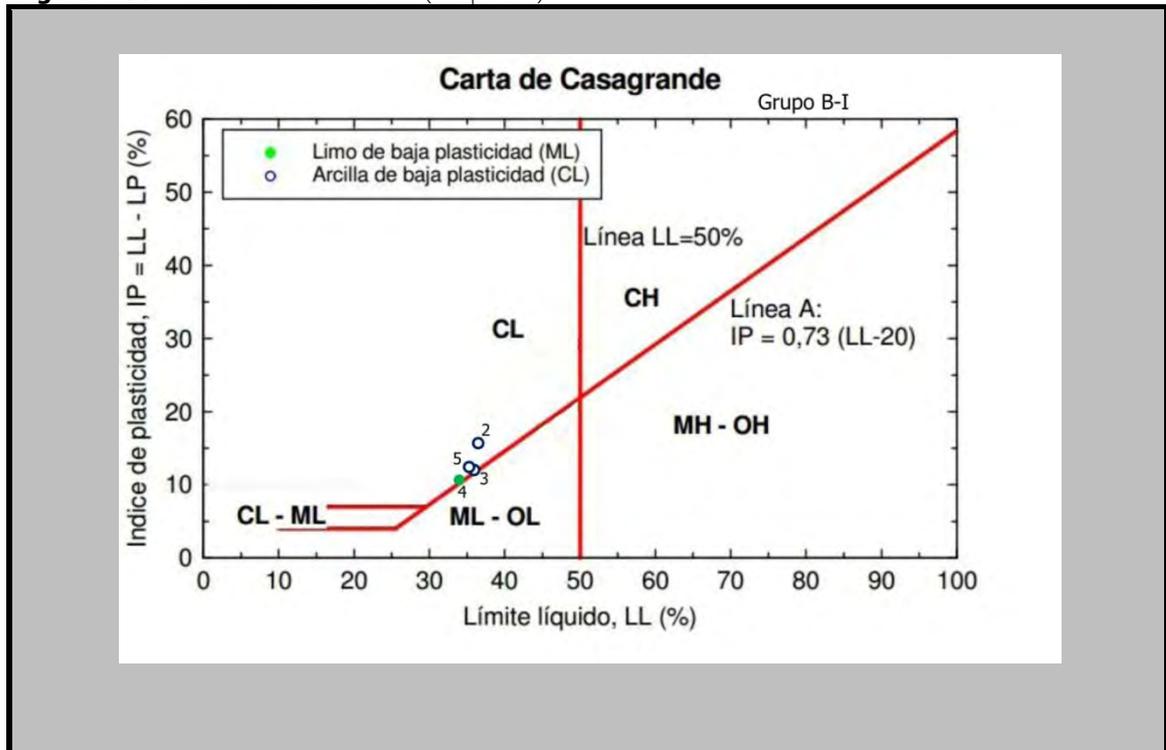
- Ensayo para determinación de límites de Atterberg

La Tabla 4.80 y la Figura 4.80 recogen los índices de Atterberg de las muestras del grupo. Se puede ver la predominancia de muestras clasificadas en arcilla de baja plasticidad (CL) en comparación con las de limo de baja plasticidad (ML)

Tabla 4.80 – Límites de Atterberg

Resultado del ensayo				
Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Clasificación
B2	36.38	20.43	15.95	CL
B3	36	23.2	12.83	CL
B4	34.54	21.28	10.11	ML
B5	35.61	21.91	13.7	CL

Figura 4.80 – Carta de Casa Grande (Grupo B-I)



- Estudio químico

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo B-I comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios la sílice (SiO_2 – 47 % en peso), la cal (CaO – 20 % en peso), el aluminio (Al_2O_3 – 8 % en peso) y los compuestos de hierro (Fe_2O_3 – 3 % en peso); mientras que los componentes minoritarios son el óxido de magnesio (MgO), feldespatos ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), micas, compuestos de dióxido de titanio (TiO_2), óxido de fósforo (P_2O_5) y óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 18,84 a 19,01 % en peso. Como elementos traza de concentración superior a 100 PPM se puede ver el estroncio (Sr), el zirconio (Zr).

Las Tablas 4.81 y 4.82 representan la composición química del grupo.

Tabla 4.81 - Composición química de los óxidos

Composición química											
Óxidos	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	LOI
Muestras	%										
B2	47,75	8,52	3,30	0,07	1,41	20,10	0,38	1,71	0,56	0,14	18,84
B3	47,38	8,63	3,40	0,07	1,54	19,99	0,34	1,69	0,57	0,16	19,01

Tabla 4.82 - Composición química de los elementos traza

Composición química		
Muestras	B2	B3
Elementos	PPM	
Sr	663	541
Zr	308	308

Los índices de hidraulicidad del grupo están representados en la Tabla 4.83. Las muestras del grupo tienen características de cemento rápido (CR).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.83 - Índice de hidraulicidad

Muestras	Índice de hidraulicidad	Clasificación
B3	2,52	CR
B5	2,52	CR

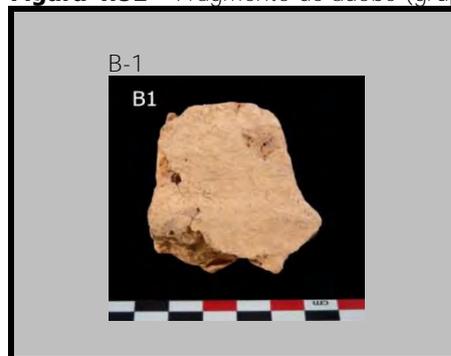
❖ Grupo B-II

Formado por 1 muestra de adobe, este grupo se caracteriza por presentar augita, diópsido y aegirina como componentes minerales mayoritarios y textura general porosa y granular.

El grupo está compuesto de fragmento con morfología irregular, de estructura compacta y sin presencia visible de material orgánico. No posee diferencias de color y textura.

La Figura 4.81 muestra el aspecto que presenta el fragmento analizado

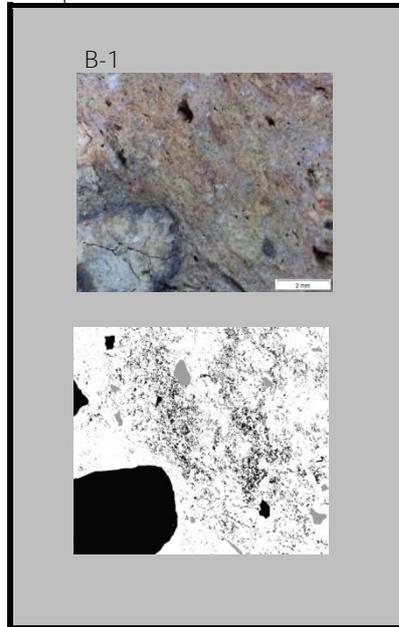
Figura 4.81 – Fragmento de adobe (grupo B-II)



• Análisis textural

En el grupo se observa la presencia de mayoritaria de limo (87%), seguido de arena de grano muy fino (9%) y fino (4%). Los conglomerados poseen estructura heterogénea con características de áridos granulares y arcillosos, de aspecto liso, aristas redondeadas y con pocas impurezas visibles. Los áridos están bien distribuidos. (Figura 4.82).

Figura 4.82 – Representación de la distribución de áridos



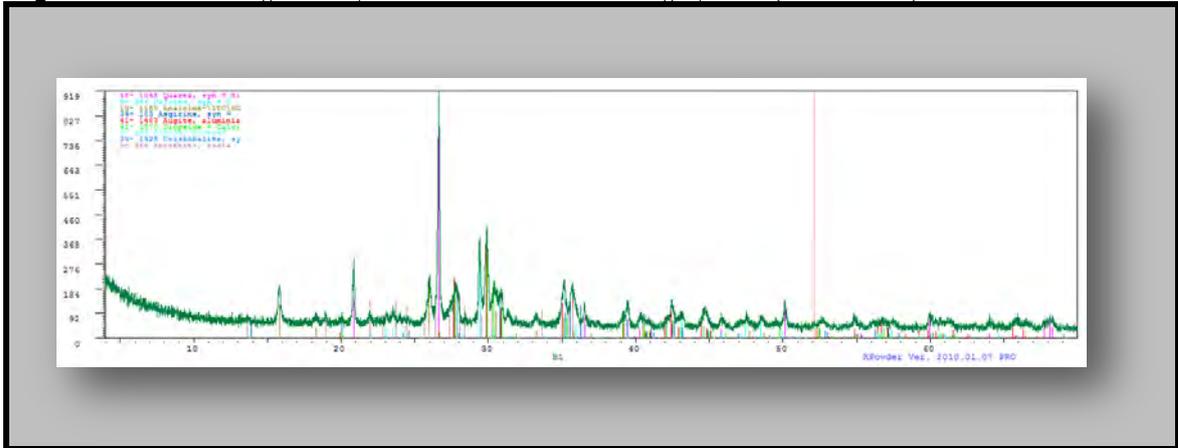
Existe predominio de poros de tamaño muy fino (86%), seguidos de finos (14%). En cuanto a la abundancia, los poros son clasificados en pocos (35 por cm^2). En ese grupo se encuentran abundantes perforaciones y moldes de posibles restos vegetales, que están dispuestos de modo aleatorio y tienen tamaños pequeños y medios. Los poros poseen la categoría de transmisión en 100% del grupo, seguido de la clase de enraizamiento (66%) y de canal (14%). Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales, vesiculares, cavidades y canales, reafirmando la probable utilización de elementos vegetales en la mezcla para la fabricación de los adobes (Figura 4.82).

- Composición mineral

El difractograma recogido en la Figura 4.83 es representativo de la mineralogía de este grupo.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.83 – Difractograma representativo de muestra del grupo BII (muestra B-1)



Las muestras están constituidas por carbonatos (calcita), filosilicatos (tipo moscovita / illita), tectosilicatos (cuarzo, cristobalita, feldespatos tipo albita y anortita, zeolitas tipo analcima) e inosilicatos (diópsido, augita y aegirina). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.84.

Tabla 4.84 – Composición mineralógica de adobes - BII

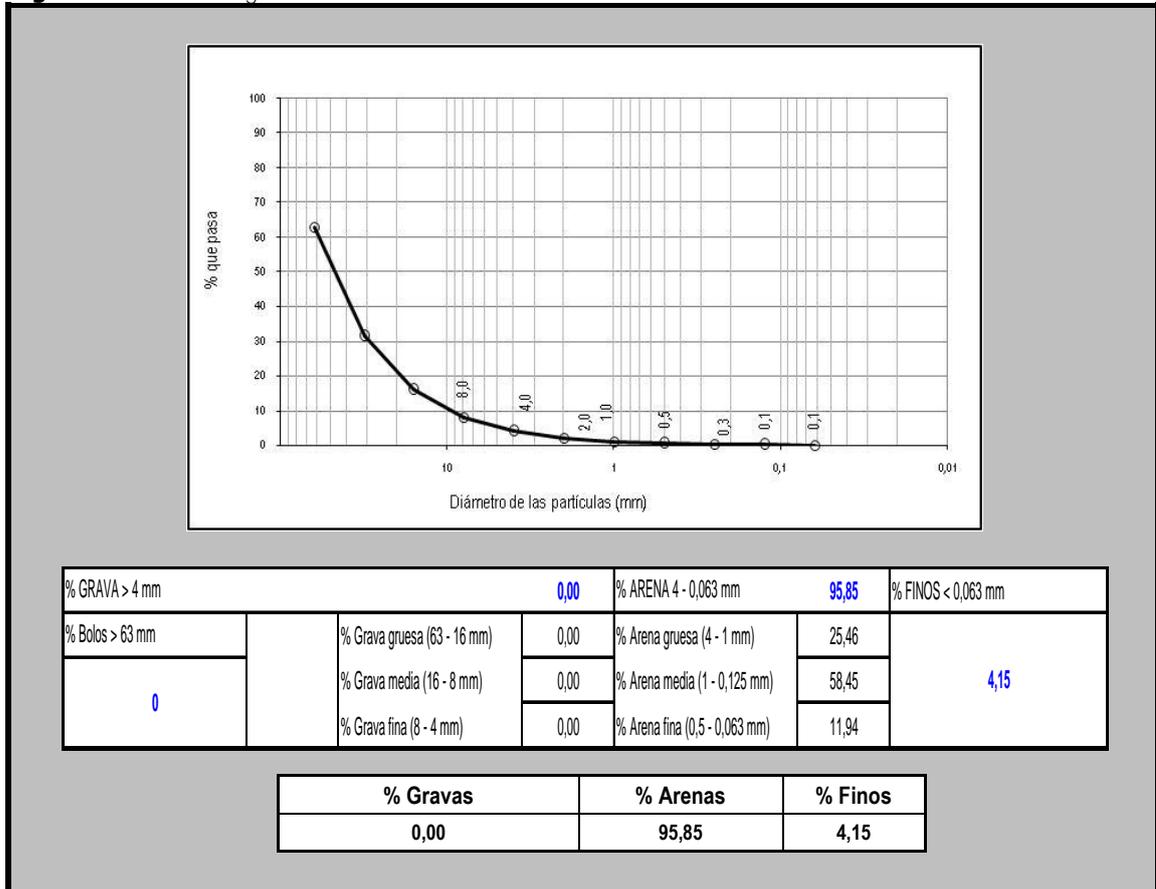
Muestra	B1
Cuarzo	09.8
Calcita	06.8
Albita	03.3
Analcima	08.3
Aegirina	15.3
Augita	26.2
Diópsido	19.2
Cristobalita	03.6
Anortita	07.5

- Ensayo granulométrico

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Las muestras están compuestas por mayoría de arena media, seguida por arena gruesa (Figura 4.84).

Figura 4.84 – Curva granulométrica



Los límites de Atterberg del grupo B-II fueron nulos. Un poco por la incidencia irregular de minerales y también por la cantidad limitada de material para en ensayo.

- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo B-II comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios la sílice (SiO_2 – 44,17 % en peso), la cal (CaO – 18,93 % en peso), el aluminio (Al_2O_3 – 15,32 % en peso), los compuestos de hierro (Fe_2O_3 – 6,36 % en peso) y el óxido de magnesio (MgO – 3,57 % en peso); mientras que los componentes minoritarios son feldspatos ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), micas, compuestos de dióxido de titanio (TiO_2), óxido de fósforo (P_2O_5) y óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 6,17 % en peso. Como elementos traza con concentración superior a 100 PPM se puede ver el

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

estroncio (Sr), el bario (Ba), el cloro (Cl), el zirconio (Zr), cromo (Cr), el rubidio (Rb), el zinc (Zn). Además de pequeñas cantidades de cobre (Cu), níquel (Ni), itrio (Y) y galio (Ga).

Las Tablas 4.85 y 4.86 representan la composición química del grupo.

Tabla 4.85 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
Muestras	%											
B1	44,17	15,32	6,36	0,10	3,57	18,93	1,87	1,94	0,77	0,22	0,30	6,17

Tabla 4.86 - Composición química de los elementos traza

Composición química	
Muestras	B1
Elementos	PPM
S	1218
Cl	288
Cr	142
Ni	68
Cu	93
Zn	111
Ga	21
Rb	113
Sr	616
Y	27
Zr	193
Ba	537

El índice de hidraulicidad del grupo está representado en la Tabla 4.87 que indica una muestra con características de cemento rápido (CR).

Tabla 4.87- Índice de hidraulicidad

Muestras	Índice de hidraulicidad	Clasificación
B1	2,50	CR

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

❖ Grupo B III

Formado por 1 muestra de mortero tipo escañizado, este grupo se caracteriza por presentar cuarzo y yeso como componentes minerales únicos y textura general maciza y lisa.

El grupo está compuesto de fragmento con morfología irregular, de estructura compacta y sin presencia visible de material orgánico. No posee diferencias de color y textura.

La Figura 4.85 muestra el aspecto que presenta el fragmento analizado.

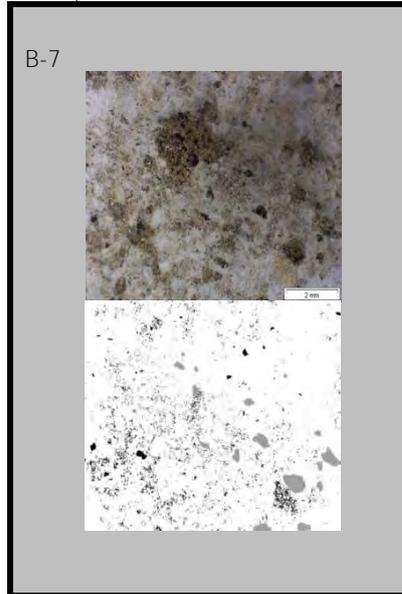
Figura 4.85 – Fragmento de escañizado (grupo B-III)



- Análisis textural

En el grupo se observa la presencia de mayoritaria de limo (82%), seguido de arena de grano muy fino (14%) y fino (4%). Los conglomerados poseen estructura heterogénea con características de áridos de machaqueo, de aspecto áspero, aristas vivas y sin impurezas visibles. Los áridos están bien distribuidos (Figura 4.86).

Figura 4.86 – Representación de la distribución de áridos



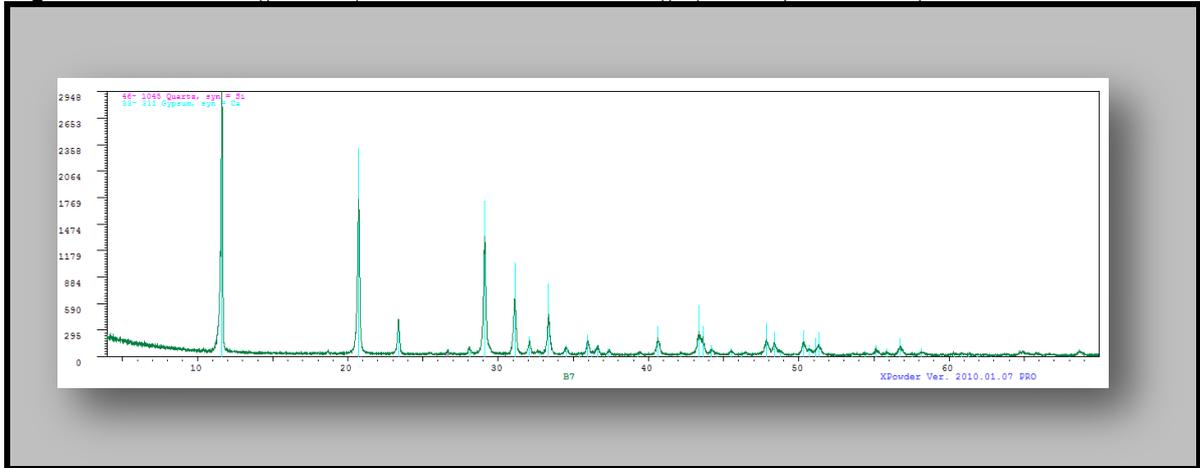
Existe predominio de poros de tamaño muy fino (61%), seguidos de finos (39%). En cuanto a la abundancia, los poros son clasificados en muy pocos (18 por cm^2). En ese grupo se encuentran abundantes perforaciones y moldes de posibles restos vegetales, que están dispuestos de modo aleatorio y tienen tamaños pequeños y medios. Los poros poseen la categoría de transmisión en 100% del grupo, seguido de la clase de canal (39%) y de enraizamiento (28%). Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales y vesiculares. Sugiere una improbable utilización de elementos vegetales en la masa (Figura 4.86).

- Estudio mineralógico

El difractograma recogido en la Figura 4.87 es representativo de la mineralogía de este grupo.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.87 – Difractograma representativo de muestra del grupo BIII (muestra B-7)



Las muestras están constituidas por sulfato (yeso) y tectosilicato (cuarzo). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.88.

Tabla 4.88 – Composición mineralógica de adobes - BIII

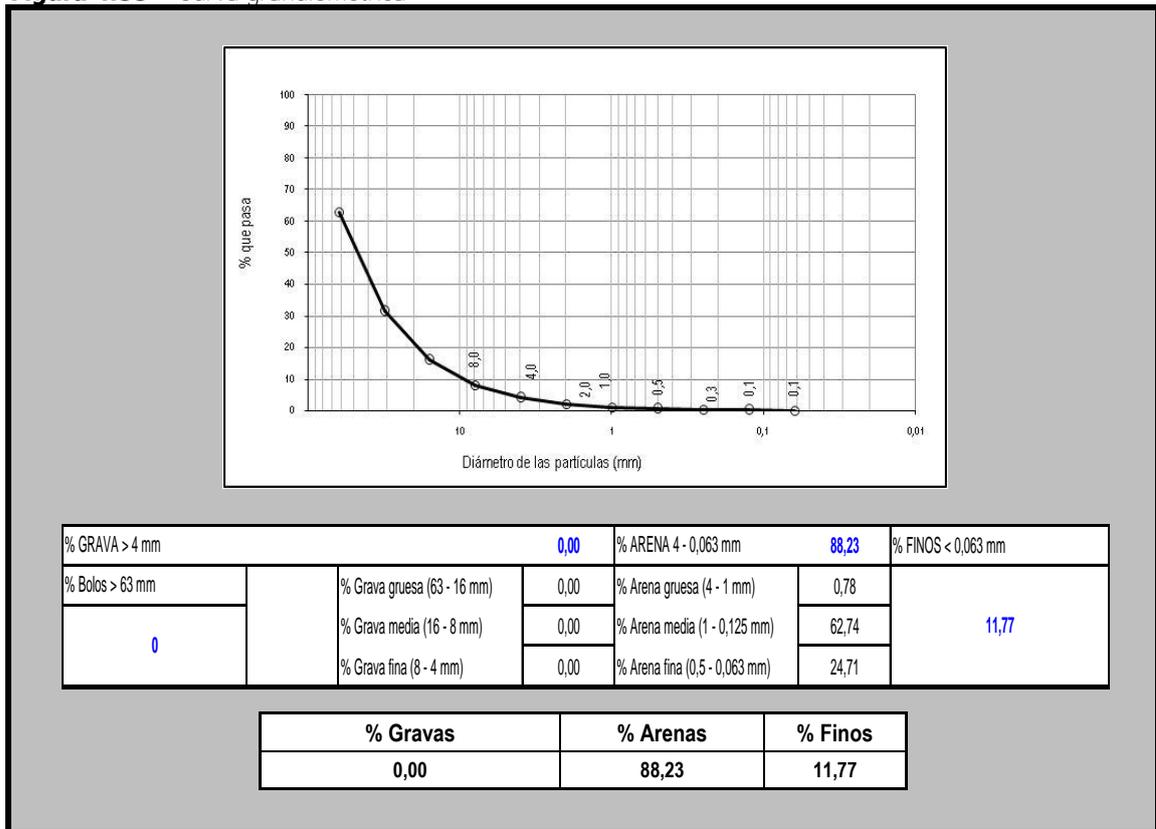
Muestra	B7
Cuarzo	01
Yeso	99

- Ensayo granulométrico

Las muestras están compuestas por mayoría de arena media, seguida por finos (Figura 4.88).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.88 – Curva granulométrica



Los límites de Atterberg del grupo B-III fueron nulos. Un poco por la gran incidencia de yeso que dificulta la eficacia del ensayo.

- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo B-III comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios el óxido de azufre (SO_3 – 42,04 % en peso) y la cal (CaO – 32,56 % en peso); mientras que los componentes minoritarios son la sílice (SiO_2 – 1,23 % en peso), el óxido de magnesio (MgO – 0,65 % en peso), óxido de fósforo (P_2O_5 – 0,54 % en peso), el aluminio (Al_2O_3 – 0,41 % en peso), los compuestos de hierro (Fe_2O_3), feldspatos ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), micas, compuestos de dióxido de titanio (TiO_2) y óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 22,3 % en peso. Como elementos traza con concentración superior a 100 PPM se puede ver el estroncio (Sr) y el cloro (Cl). Además de pequeñas cantidades de zirconio (Zr), cobre (Cu), cromo (Cr), zinc (Zn), níquel (Ni), galio (Ga) y bromo (Br).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Las Tablas 4.89 y 4.90 representan la composición química del grupo.

Tabla 4.89 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
Muestra	%											
B7	1,23	0,41	0,23	0,01	0,65	32,56	0,02	0,20	0,02	0,54	42,04	22,3

Tabla 4.90 - Composición química de los elementos trazos

Composición química	
Muestra	B7
Elementos	PPM
S	168348
Cl	132
Cr	29
Ni	16
Cu	52
Zn	28
Ga	6
Br	4
Sr	1829
Zr	67

El índice de hidraulicidad del grupo está representado en la Tabla 4.91 que indica una muestra con características de pasta débilmente hidráulica (DH). Todavía el valor encontrado está por abajo de los valores mínimos utilizados para la clasificación.

Tabla 4.91 - Índice de hidraulicidad

Muestras	Índice de hidraulicidad	Clasificación
B7	0,06	DH

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

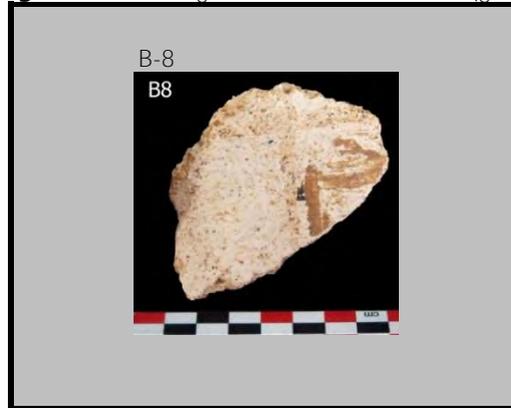
❖ Grupo B IV

Formado por 1 muestra de mortero tipo revestimiento, este grupo se caracteriza por presentar calcita, cuarzo y moscovita como componentes minerales mayoritarios y textura general maciza y lisa.

El grupo está compuesto de fragmento con morfología irregular, de estructura compacta y sin presencia visible de material orgánico. No posee diferencias de color y textura.

La Figura 4.89 muestra el aspecto que presenta el fragmento analizado.

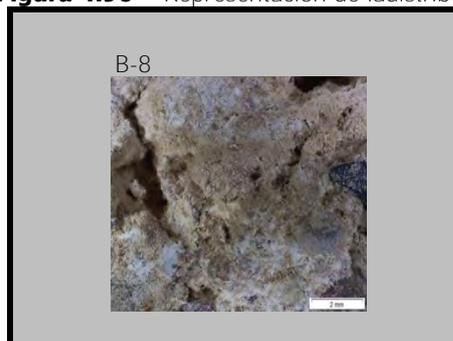
Figura 4.89 – Fragmento de revestimiento (grupo B-IV)



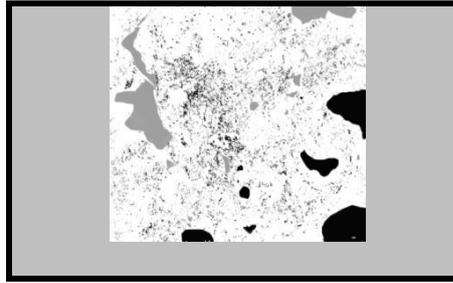
- Análisis textural

En el grupo se observa la presencia de mayoritaria de limo (86%), seguido de arena de grano muy fino (10%) y fino (4%). Los conglomerados poseen estructura heterogénea con características de áridos de machaqueo, de aspecto áspero, aristas vivas y sin impurezas visibles. Los áridos están bien distribuidos (Figura 4.90).

Figura 4.90 – Representación de la distribución de áridos



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

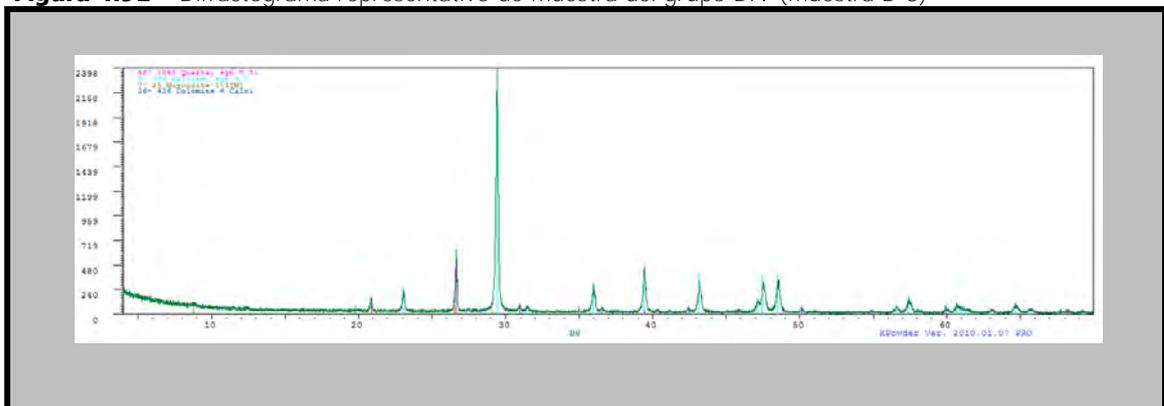


Existe predominio de poros de tamaño muy fino (83%), seguidos de finos (6%) y medios (11%). En cuanto a la abundancia, los poros son clasificados en muy pocos (18 por cm^2). En ese grupo se encuentran abundantes perforaciones y moldes de posibles restos vegetales, que están dispuestos de modo aleatorio y tienen tamaños pequeños y medios. Los poros poseen la categoría de transmisión en 94% del grupo, seguido de la clase de enraizamiento (50%), de canal (11%), nidos y canales (11%) y almacenamiento (6%). Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales y vesiculares. Sugiere una improbable utilización de elementos vegetales en la masa (Figura 4.90).

- Estudio mineralógico

El difractograma recogido en la Figura 4.91 es representativo de la mineralogía de este grupo.

Figura 4.91 – Difractograma representativo de muestra del grupo BIV (muestra B-8)



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Las muestras están constituidas por carbonatos (calcita y dolomita), filosilicatos (tipo moscovita / illita) y tectosilicatos (cuarzo). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.92.

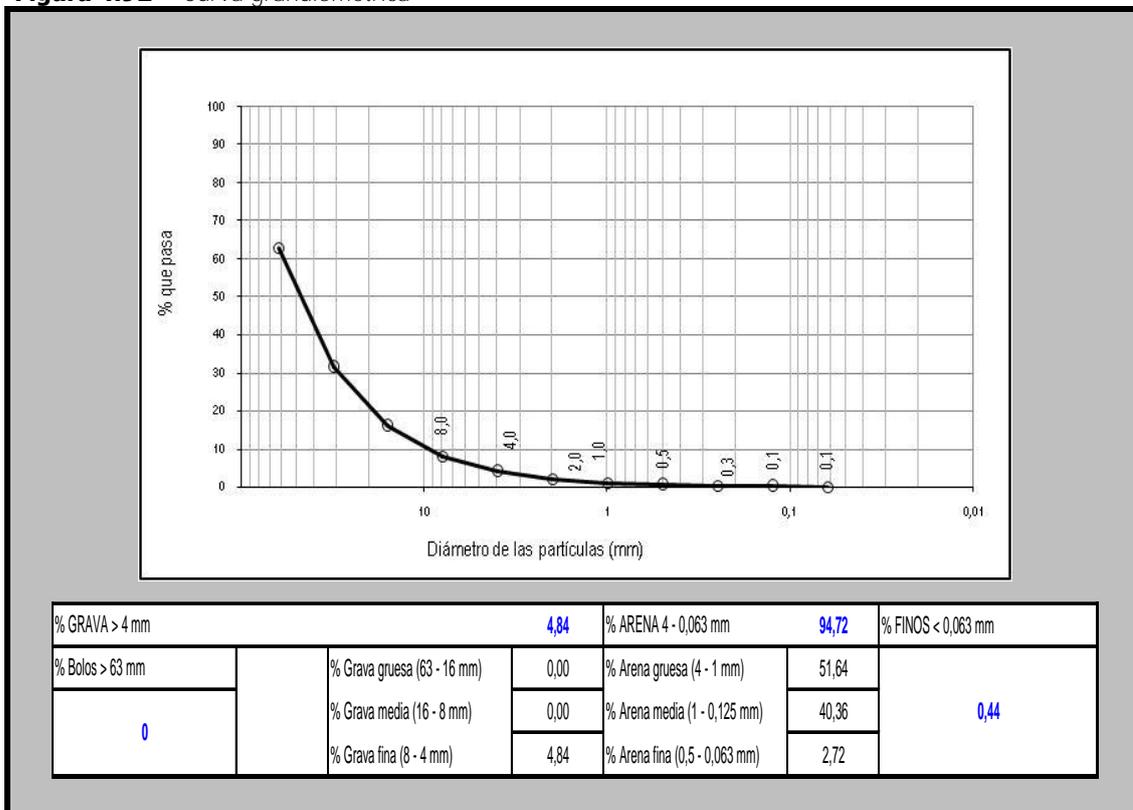
Tabla 4.92 – Composición mineralógica de adobes

Muestra	B8
Cuarzo	11
Calcita	74
Moscovita	09
Dolomita	06

- Ensayo granulométrico

Las muestras están compuestas por mayoría de arena gruesa, seguida por gravas (Figura 4.92).

Figura 4.92 – Curva granulométrica



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

% Gravas	% Arenas	% Finos
4,84	94,72	0,44

Los límites de Atterberg del grupo B-IV fueron nulos por cuenta de la gran incidencia de cal que dificulta la eficacia del ensayo.

- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo B-IV comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios la cal (CaO – 50,89 % en peso) y la sílice (SiO_2 – 9,38 % en peso); mientras que los componentes minoritarios son el aluminio (Al_2O_3 – 1,84 % en peso), los compuestos de hierro (Fe_2O_3), el óxido de magnesio (MgO), feldspatos ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), micas, óxido de fósforo (P_2O_5), compuestos de dióxido de titanio (TiO_2) y óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 35,1 % en peso. Como elementos traza que predominan con concentración superior a 100 PPM se puede ver el cloro (Cl), el estroncio (Sr), el bario (Ba). Además de pequeñas cantidades de cromo (Cr), plomo (Pb), cobre (Cu), zirconio (Zr), zinc (Zn), níquel (Ni) e itrio (Y).

Las Tablas 4.93 y 4.94 representan la composición química del grupo.

Tabla 4.93 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	SO_3	LOI
Muestra	%											
B8	9,38	1,84	0,95	0,02	0,65	50,89	0,12	0,41	0,10	0,17	0,22	35,1

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.94 - Composición química de los elementos trazos

Composición química	
Muestras	B8
Elementos	PPM
S	894
Cl	425
Cr	69
Ni	13
Cu	60
Zn	38
Sr	278
Y	9
Zr	54
Ba	121
Pb	61

El índice de hidraulicidad del grupo está representado en la Tabla 4.95 que indica una muestra con características de pasta medianamente hidráulica (MH).

Tabla 4.95 - Índice de hidraulicidad

Muestra	Índice de hidraulicidad	Clasificación
B-8	0,23	MH

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

4.8. Yacimiento de Villaricos

En este yacimiento se han estudiado 40 muestras de mortero. Se trata de fragmentos con dimensiones entre 3 y 14 cm y tonalidades que van de rosáceo a marrón claro, pasando por blanco rosáceo; blanco; amarillo claro y gris rosáceo (Tabla 4.96).

Tabla 4.96– Coordenadas cromáticas de Villaricos

Muestra	Munsell	Colorimetría		
		L	a	b
VR-1	7.5YR 8/2 PINKISH WHITE	70,79	5,15	20,31
VR-2	10YR 7/2 LIGTH GRAY	59,58	5,31	18,34
VR-3	7.5YR 8/2 PINKISH WHITE	75,63	3,81	20,69
VR-4	7.5YR 7/2 PINKISH GRAY	69,08	5,63	17,97
VR-5	10YR 8/1 WHITE	75,37	2,43	11,14
VR-6	2.5Y 8/2 PALE YELLOW	76,49	2,28	12,25
VR-7	2.5Y 8/1 WHITE	75,18	2,04	12,53
VR-8	5YR 8/1 WHITE	78,75	2,16	11,56
VR-9	7.5YR 7/4 PINK	56,31	8,33	19,42
VR-10	7.5YR 7/3 PINK	56,47	5,98	19,71
VR-11	10YR 8/1 WHITE	83,54	2,24	10,37
VR-12	10YR 8/1 WHITE	81,08	2,05	10,48
VR-13	10YR 8/1 WHITE	71,76	1,35	10,74
VR-14	10YR 8/1 WHITE	78,98	1,97	9,01

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

VR-15	7.5YR 6/3 LIGTH BROWN	57,67	7,83	21,20
VR-16	10YR 8/1 WHITE	71,10	3,78	14,62
VR-17	10YR 8/2 VERY PALE BROWN	68,62	5,63	17,54
VR-18	7.5YR 7/2 PINKISH GRAY	57,16	5,80	13,62
VR-19	10YR 8/1 WHITE	83,56	1,35	8,08
VR-20	7.5YR 8/2 PINKISH WHITE	72,20	7,34	19,41
VR-21	7.5YR 8/1 WHITE	69,17	1,16	11,86
VR-22	10YR 8/2 VERY PALE BROWN	83,34	1,61	11,91
VR-23	10YR 8/1 WHITE	69,89	1,51	8,93
VR-24	10YR 8/1 WHITE	79,38	1,35	7,59
VR-25	7.5YR 7/3 PINK	62,13	8,65	20,49
VR-26	10YR 8/1 WHITE	91,62	0,36	6,36
VR-27	7.5YR 8/2 PINKISH WHITE	70,73	3,02	16,56
VR-28	10YR 8/3 VERY PALE BROWN	77,03	4,83	19,44
VR-29	7.5YR 8/3 PINKISH WHITE	70,54	4,29	14,72
VR-30	10YR 8/1 WHITE	88,70	0,90	8,64
VR-31	5YR 8/1 WHITE	69,64	1,43	8,51
VR-32	10YR 8/2 VERY PALE BROWN	65,25	6,77	20,31
VR-33	10YR 8/2 VERY PALE BROWN	65,34	6,63	19,98
VR-34	10YR 7/2 LIGTH GRAY	59,52	5,21	18,03
VR-35	5YR 8/1 WHITE	91,50	0,68	7,92

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

VR-36	5YR 8/1 WHITE	90,45	0,87	7,67
VR-37	7.5YR 7/4 PINK	58,54	9,39	22,88
VR-38	7.5YR 8/3 PINK	73,36	6,04	19,57
VR-39	10YR 8/2 VERY PALE BROWN	83,18	2,50	13,08
VR-40	10YR 8/2 VERY PALE BROWN	66,98	5,81	17,89

En base a su naturaleza, composición mineralógica y características texturales, se diferencian cinco grupos de muestras que son los siguientes:

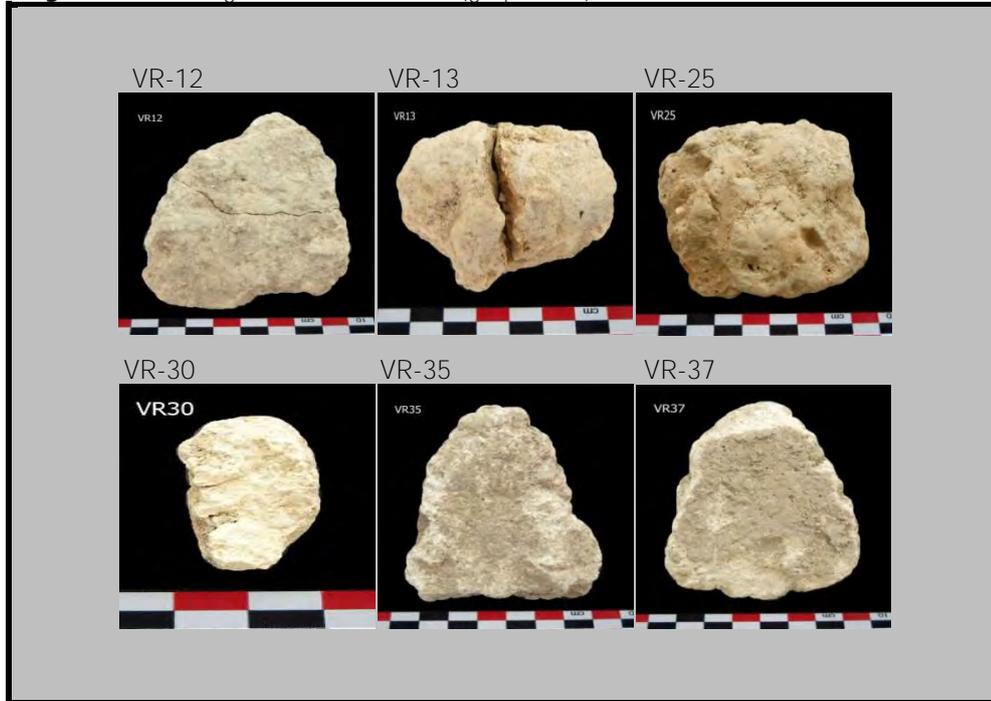
❖ Grupo VR I

Formado por 6 muestras de mortero, este grupo se caracteriza por presentar moscovita, cuarzo y calcita como componentes minerales mayoritarios y textura general porosa y granular.

El grupo está compuesto de fragmentos con morfología irregular, de estructura compacta y sin presencia visible de material orgánico. Poseen pequeñas diferencias de color y textura, aunque sin llegar a constituir tipos diferenciados respecto a las características generales del grupo.

La Figura 4.93 muestra el aspecto que presentan los fragmentos analizados.

Figura 4.93 – Fragmentos de morteros (grupo VR-I)



- Análisis textural

En el grupo se observa la presencia de mayoritaria de limo, seguido de arena de grano muy fino y fino (Gráfico 4.34). Los conglomerados poseen estructura heterogénea con características de áridos de machaqueo, de aspecto áspero, aristas vivas y sin impurezas visibles. Los áridos están bien distribuidos en VR-35 y VR-37, moderadamente en VR-30, mal distribuidos en VR-12, VR-13 y muy mal distribuidos en VR-25 (Figura 4.94).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Gráfico 4.34 – Diámetro de áridos (mm) - VRI

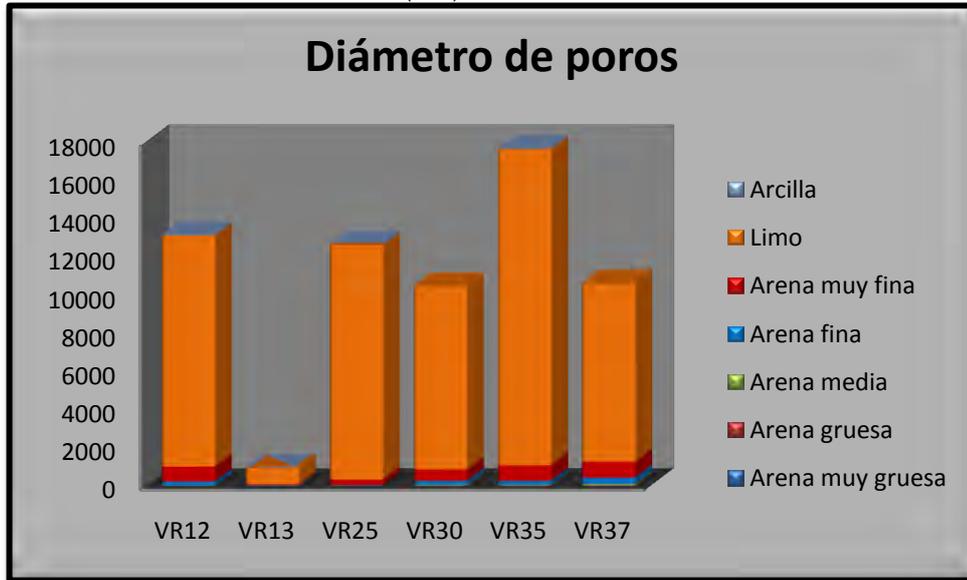
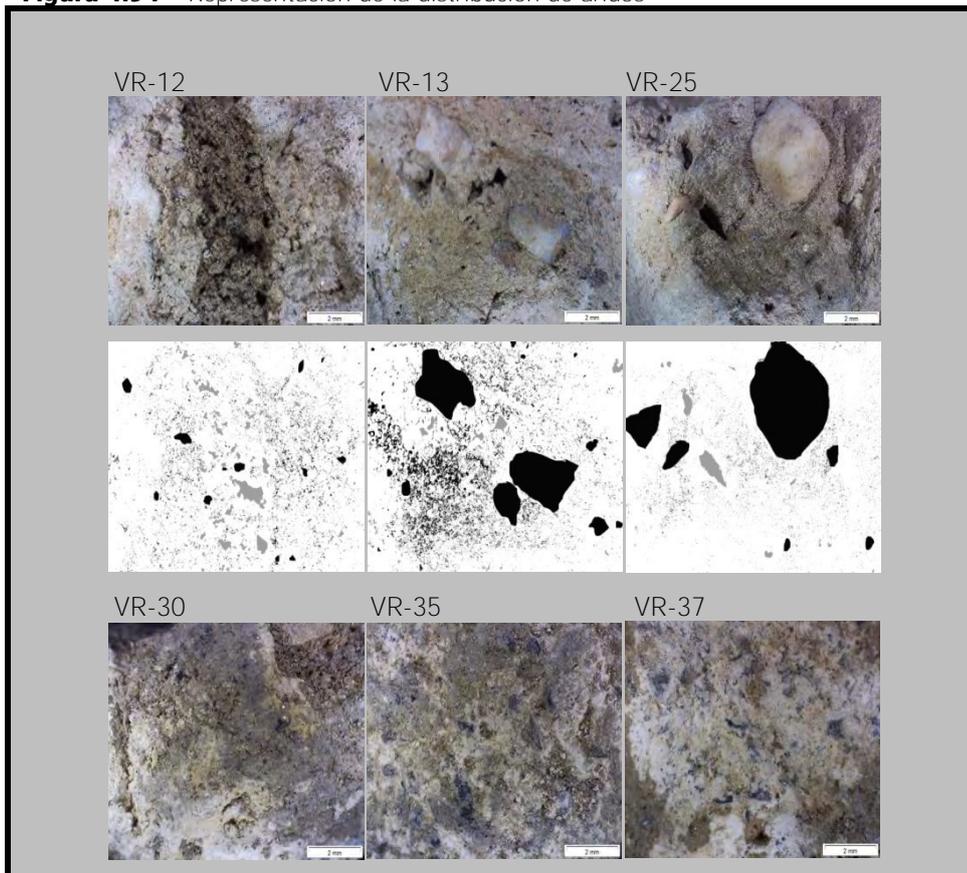
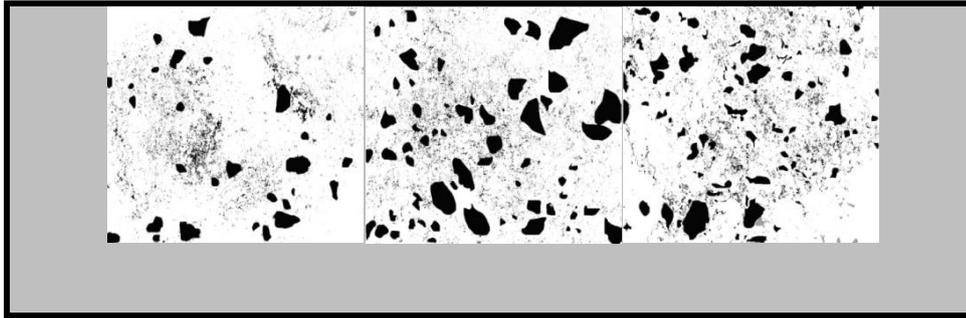


Figura 4.94 – Representación de la distribución de áridos

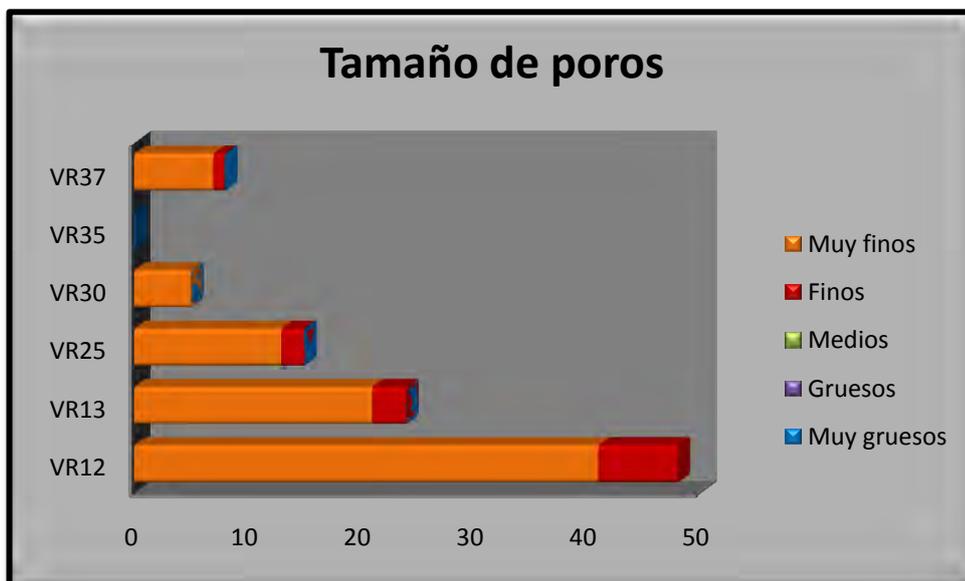


Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra



Existe predominio de poros de tamaño muy fino, seguidos de finos (Gráfico 4.35). En cuanto a la abundancia, los poros son muy pocos, excepto en dos que tienen pocos y uno que tiene ausencia de poros (Tabla 4.97). En ese grupo se encuentran abundantes perforaciones y moldes de posibles restos vegetales, que están dispuestos de modo aleatorio y tienen tamaños pequeños y medios. Los poros poseen la categoría preponderante de transmisión, seguido de la clase de enraizamiento y de canal (Gráfico 4.36). Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales, vesiculares y planos. En ese caso no se puede certificar la utilización de elementos vegetales en la masa (Figura 4.94).

Gráfico 4.35 – Tamaños de poros (mm)

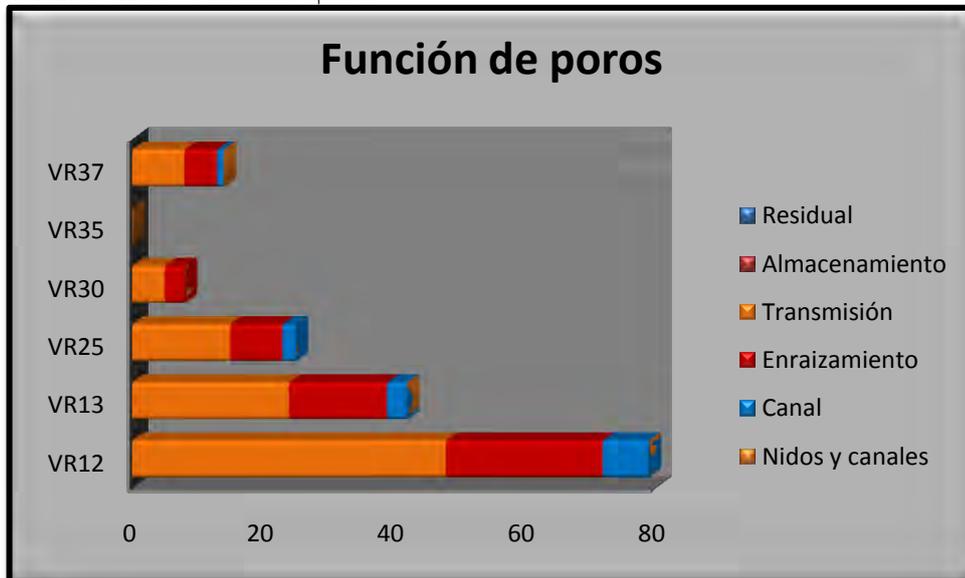


Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.97 – Número de poros por cm² - VRI

Abundancia	Muy pocos (1-20)	Pocos (20-50)
VR12	-	48
VR13	-	24
VR25	15	-
VR30	05	-
VR35	-	-
VR37	08	-

Gráfico 4.36 – Función de poros

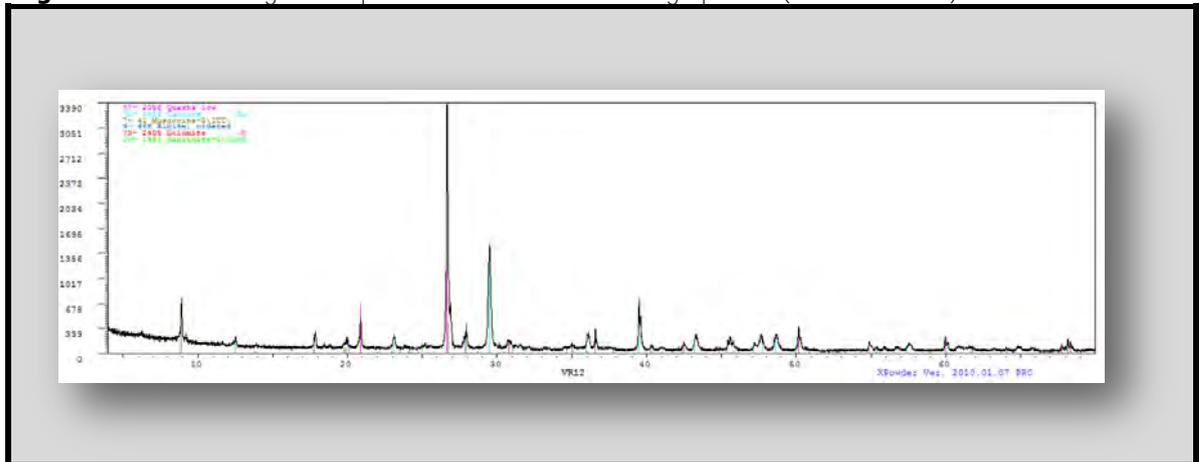


- Estudio mineralógico

El difractograma recogido en la Figura 4.95 es representativo de la mineralogía de este grupo.

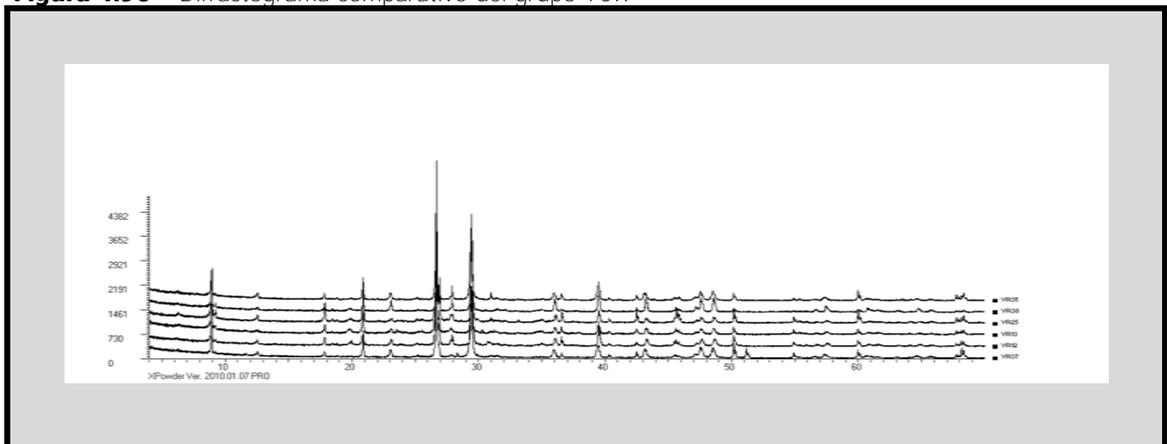
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.95 – Difractograma representativo de muestra del grupo VRI (muestra VR-12)



La Figura 4.96 recoge los difractogramas comparados de las distintas muestras.

Figura 4.96 – Difractograma comparativo del grupo TCII



Las muestras están constituidas por carbonatos (calcita y dolomita), filosilicatos (tipo moscovita / illita y caolinita) y tectosilicatos (cuarzo y feldespatos tipo albita). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.98.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

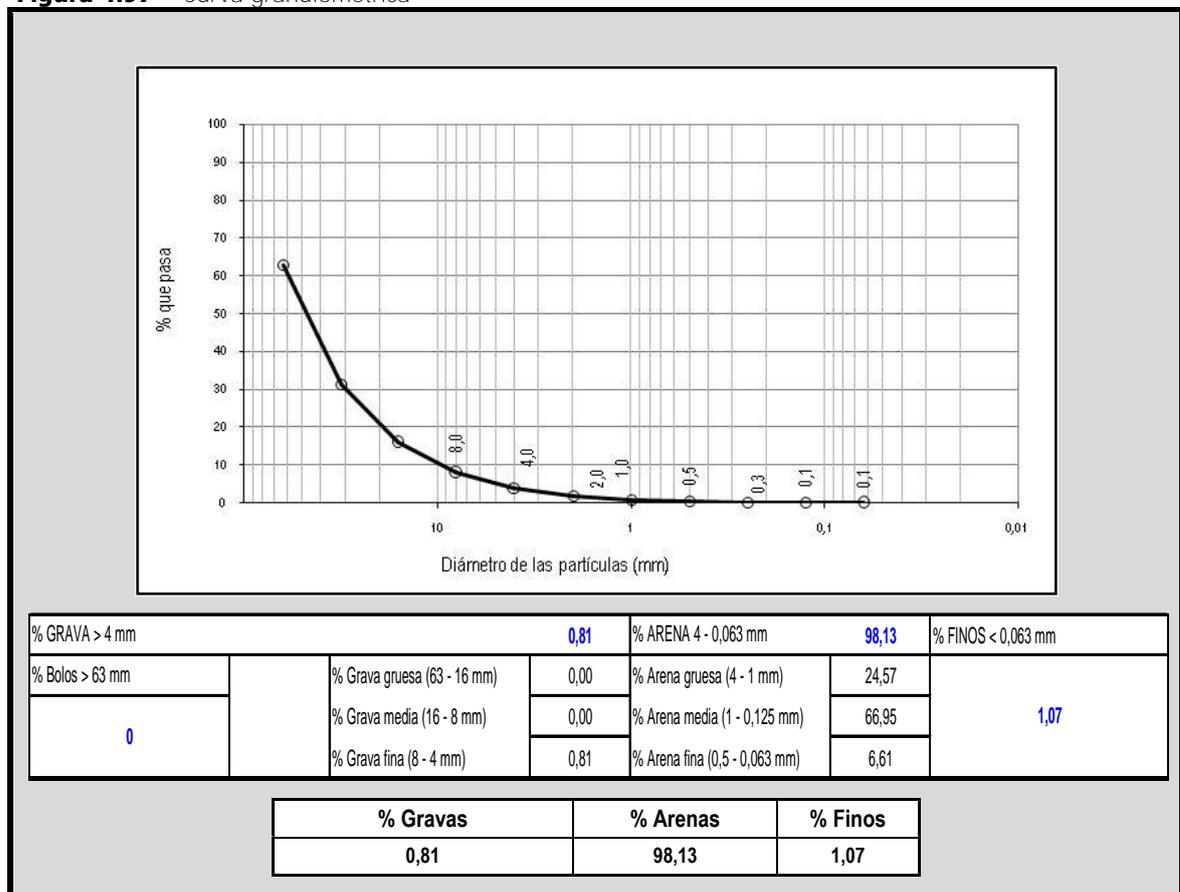
Tabla 4.98 – Composición mineralógica de revestimiento (%)

Muestras	VR12	VR13	VR25	VR30	VR35	VR37
Cuarzo	37	35	09	23	06	34
Calcita	14	11	16	39	28	20
Moscovita	38	37	62	24	45	34
Dolomita	03	02	03	02	05	01
Albita	04	12	05	08	10	08
Caolinita	04	03	05	04	06	03

- Ensayo granulométrico

Las muestras están compuestas por mayoría de arena media, seguida por arena gruesa (Figura 4.97).

Figura 4.97 – Curva granulométrica



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

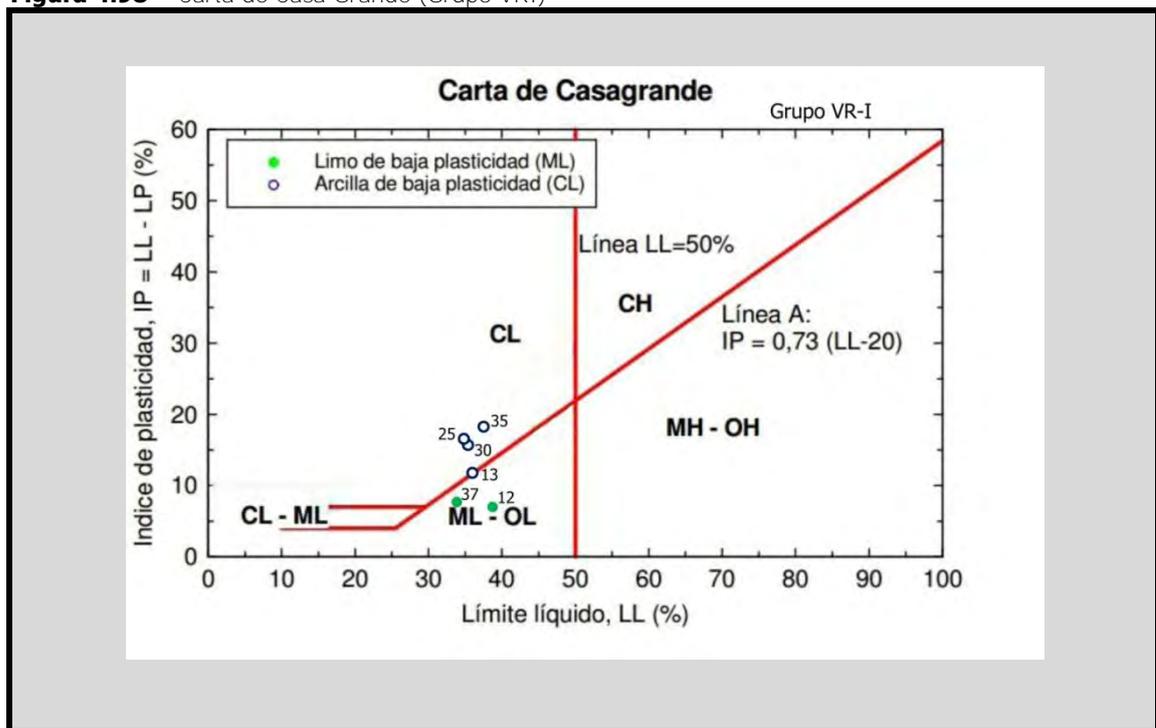
- Ensayo para determinación de límites de Atterberg

La Tabla 4.99 y la Figura 4.98 recogen los índices de Atterberg de las muestras del grupo. Se puede ver la predominancia de muestras clasificadas en arcilla de baja plasticidad (CL) en comparación con las de limo de baja plasticidad (ML)

Tabla 4.99 – Límites de Atterberg

Resultado del ensayo				
Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Clasificación
VR12	38.91	31.85	7.06	ML
VR13	35.66	23.4	12.26	CL
VR25	34.98	18.55	16.43	CL
VR30	35.44	19.19	16.25	CL
VR35	37.12	19.03	18.09	CL
VR37	34.27	25.48	8.79	ML

Figura 4.98 – Carta de Casa Grande (Grupo VRI)



- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo VR-I comprueba que las muestras tienen como elementos

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

mayoritarios la cal (CaO – 18,21 a 53,61 % en peso), la sílice (SiO₂ – 10,52 a 37,26 % en peso), el aluminio (Al₂O₃ – 2,76 a 15,38 % en peso), los compuestos de hierro (Fe₂O₃ – 1,97 a 5,36 % en peso), feldespatos (Na₂O + K₂O – 0,33 a 3,51 % en peso) y el óxido de magnesio (MgO – 0,84 a 2,3 % en peso); mientras que los componentes minoritarios son micas, óxido de fósforo (P₂O₅), compuestos de dióxido de titanio (TiO₂) y óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 15,2 a 27,5 % en peso. Como elementos traza que predominan con concentración superior a 100 PPM se puede ver el cloro (Cl), el estroncio (Sr), plomo (Pb), el bario (Ba), el zirconio (Zr), el cromo (Cr), el zinc (Zn), el cobre (Cu) y el rubidio (Rb). Además de pequeñas cantidades de níquel (Ni), itrio (Y), galio (Ga), yodo (I) y bromo (Br).

Las Tablas 4.100 y 4.101 representan la composición química del grupo.

Tabla 4.100 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
Muestras	%											
VR12	10,56	2,76	1,97	0,05	0,84	53,61	0,33	0,63	0,18	0,19	1,07	27,5
VR25	37,26	15,38	5,06	0,08	2,3	18,21	0,95	3,51	0,59	0,39	0,83	15,2
VR37	36,4	13,29	5,36	0,07	2,04	21,27	0,57	2,67	0,8	0,13	1,11	16,1

Tabla 4.101 - Composición química de los elementos traza

Composición química			
Muestras	VR12	VR25	VR37
Elementos	PPM		
S	4298	3313	4428
Cl	1545	384	152
Cr	66	142	151
Ni	27	51	51
Cu	95	118	68
Zn	74	134	99
Ga	0	18	20
Br	12	0	0
Rb	0	117	96
Sr	449	535	314
Y	0	17	27
Zr	93	150	342
I	0	0	48
Ba	407	482	0
Pb	580	358	313

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Los índices de hidraulicidad del grupo están representados en la Tabla 4.102 que indican que las muestras del grupo tienen características de cemento rápido (CR).

Tabla 4.102- Índice de hidraulicidad

Muestras	Índice de hidraulicidad	Clasificación
VR12	0,28	Mh
VR25	2,31	CR
VR37	2,07	CR

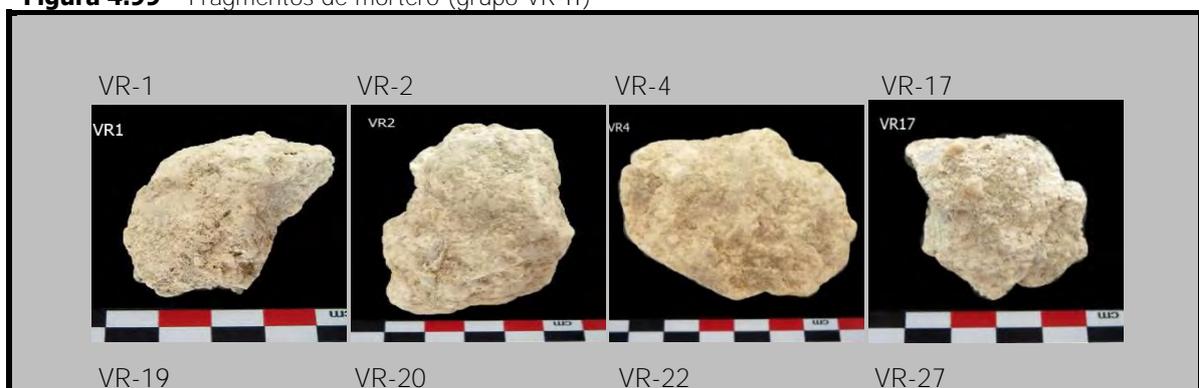
❖ Grupo VR II

Formado por 12 muestras de mortero, este grupo se caracteriza por presentar moscovita, cuarzo y calcita como componentes minerales mayoritarios y la textura general es maciza y áspera.

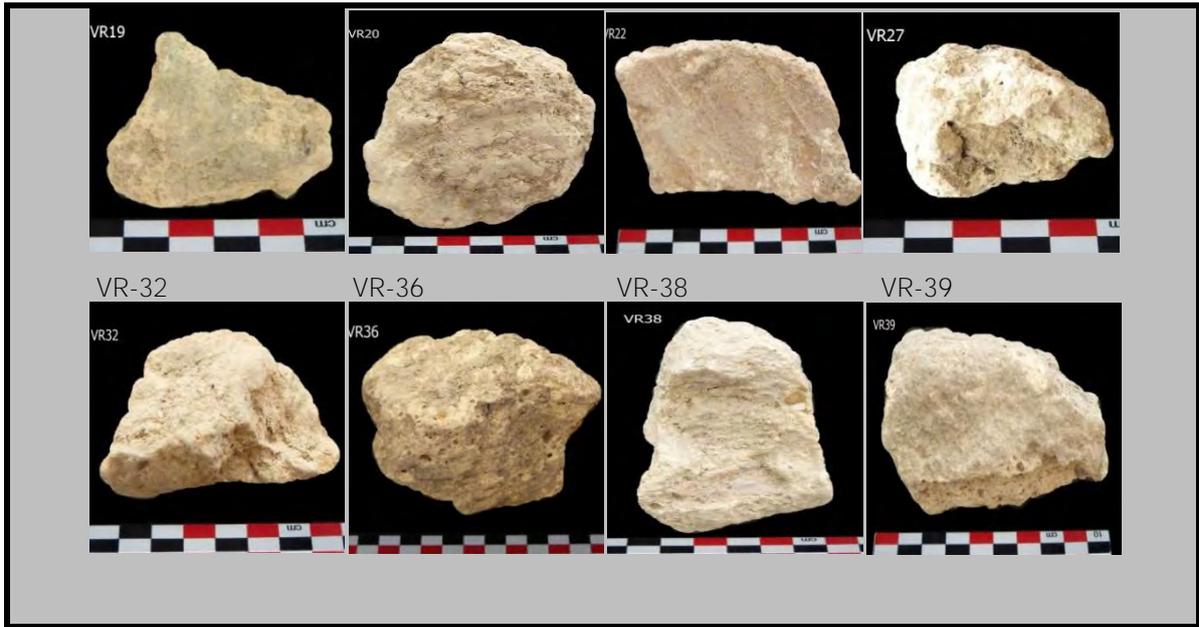
El grupo está compuesto de fragmentos con morfología irregular, de estructura compacta y sin presencia visible de material orgánico. Poseen pequeñas diferencias de color y textura, aunque sin llegar a constituir tipos diferenciados respecto a las características generales del grupo.

La figura 4.99 muestra el aspecto que presentan los fragmentos analizados.

Figura 4.99 – Fragmentos de mortero (grupo VR-II)



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra



- Análisis textural

En el grupo se observa la presencia de mayoría de limo, seguido de arena de grano muy fino y fino (Gráfico 4.37). Los conglomerados poseen estructura heterogénea con características de áridos de machaqueo, de aspecto áspero, aristas vivas y sin impurezas visibles. Los áridos están bien distribuidos en VR-2, VR-17, VR-22 y VR-39; moderadamente distribuidos en VR-1, VR-27 y VR-38; mal distribuidos en VR-4, VR-19 y VR-36 y muy mal distribuidos en VR-20 y VR-32 (Figura 4.100).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Gráfico 4.37 – Diámetro de áridos (mm) - VR11

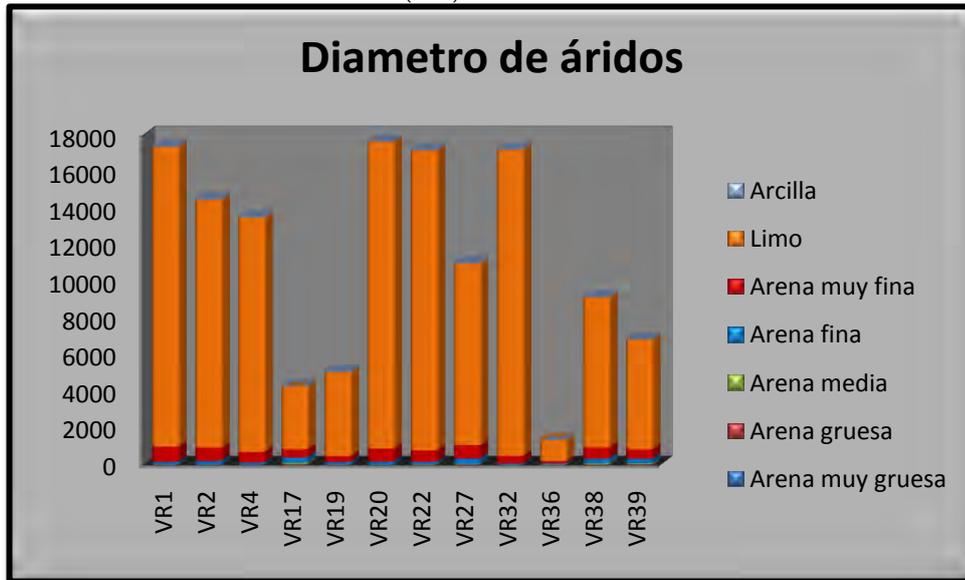
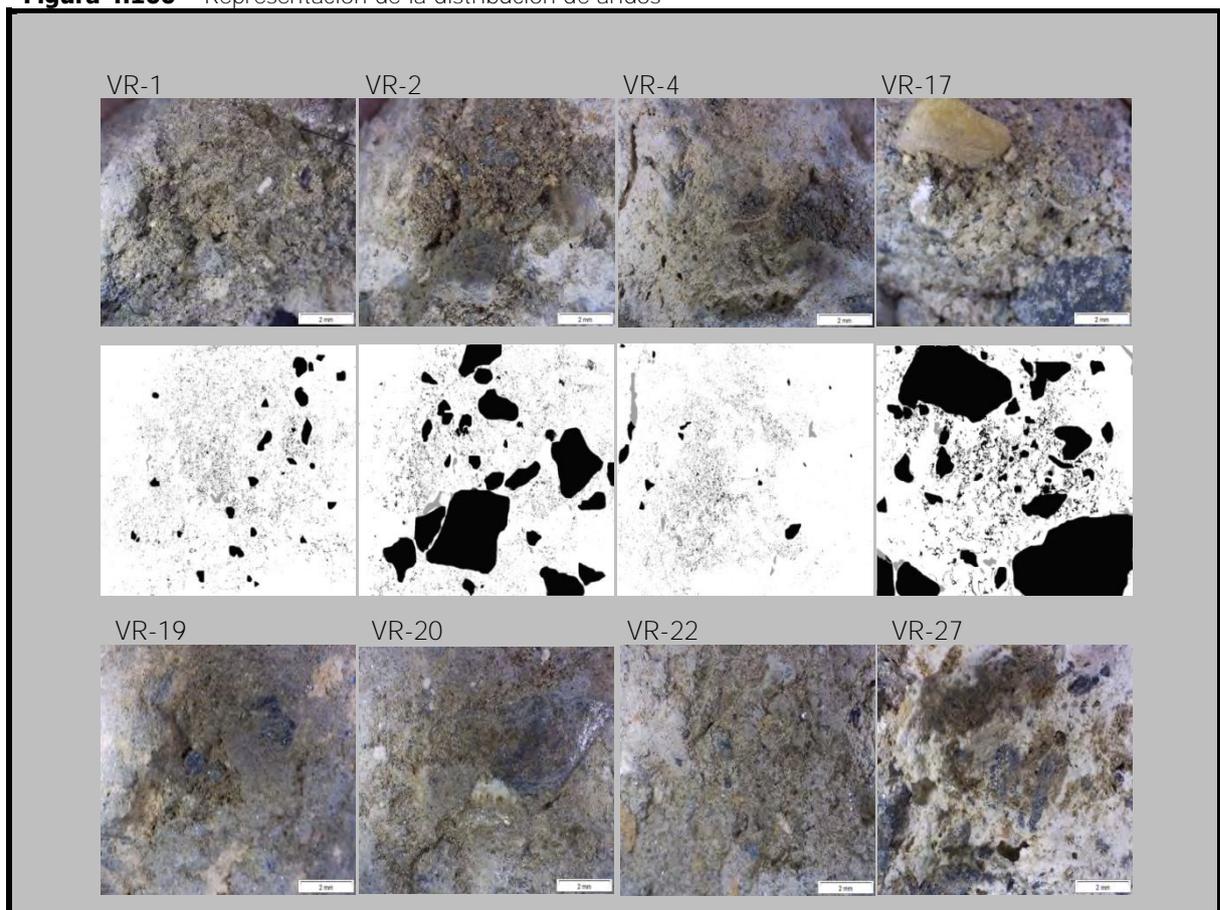
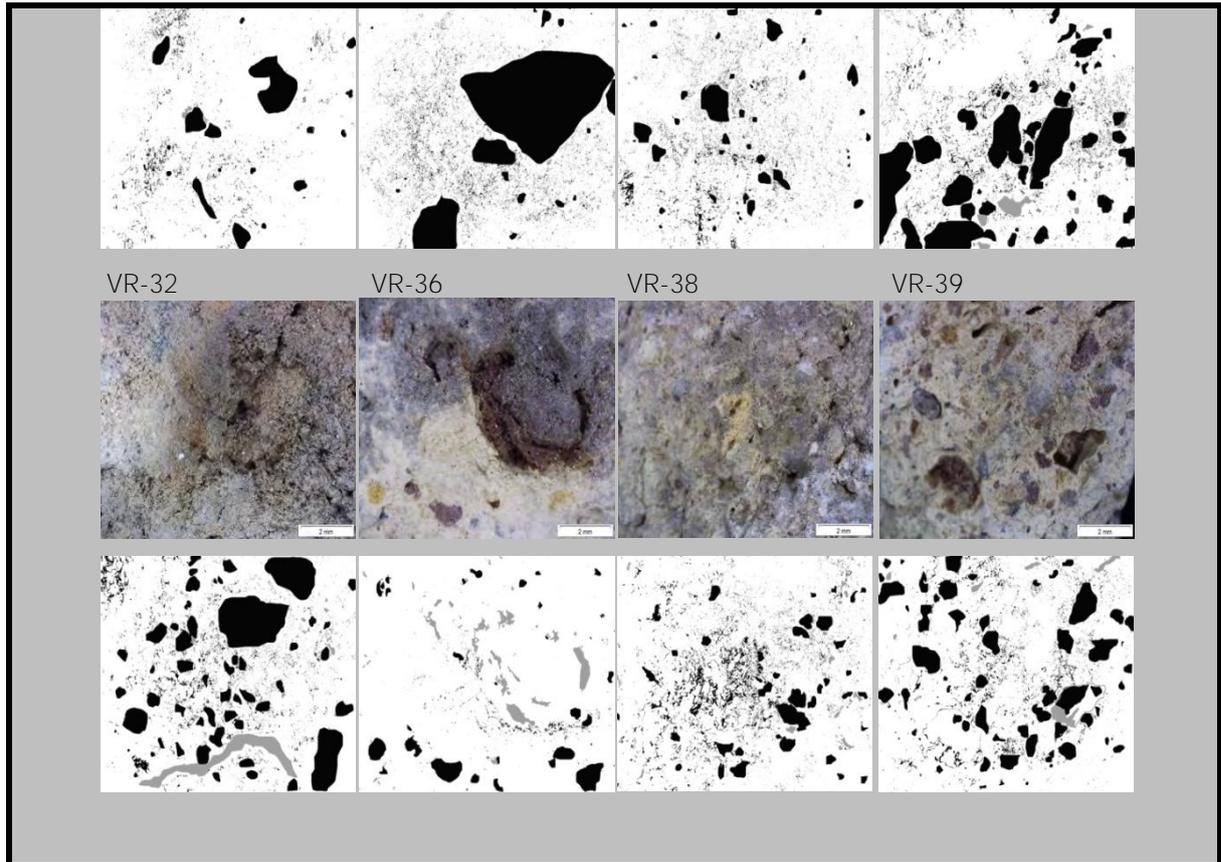


Figura 4.100 – Representación de la distribución de áridos



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra



Existe predominio de poros de tamaño muy fino, seguidos de finos (Gráfico 4.38). En cuanto a la abundancia, predomina la clase muy poco (Tabla 4.103). En ese grupo no se encuentran perforaciones y ni moldes de restos vegetales. Los poros poseen la categoría preponderante de transmisión, seguido de la clase de enraizamiento y de canal (Gráfico 4.39). Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales, vesiculares y planos. En ese caso no se puede certificar la utilización de elementos vegetales en la masa (Figura 4.100).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Grafico 4.38 – Tamaño de poros (mm)

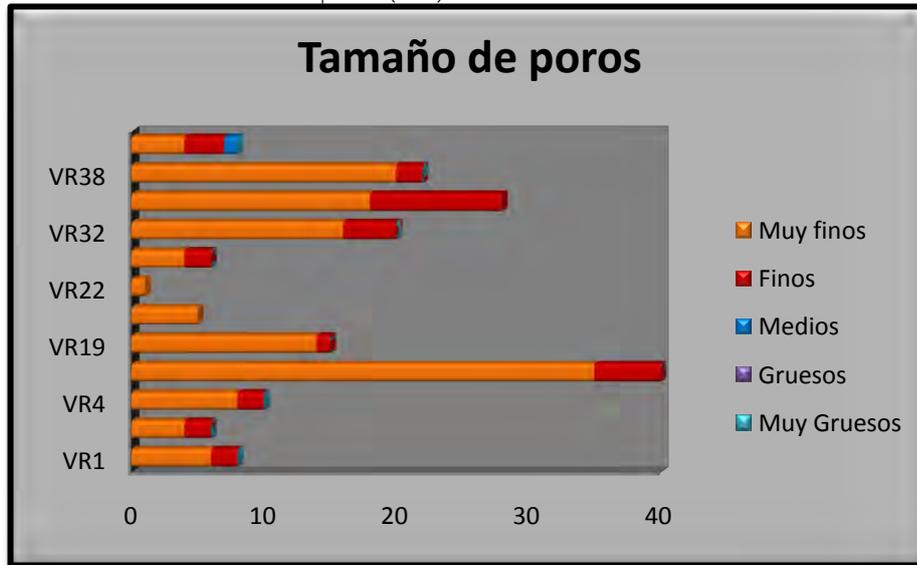
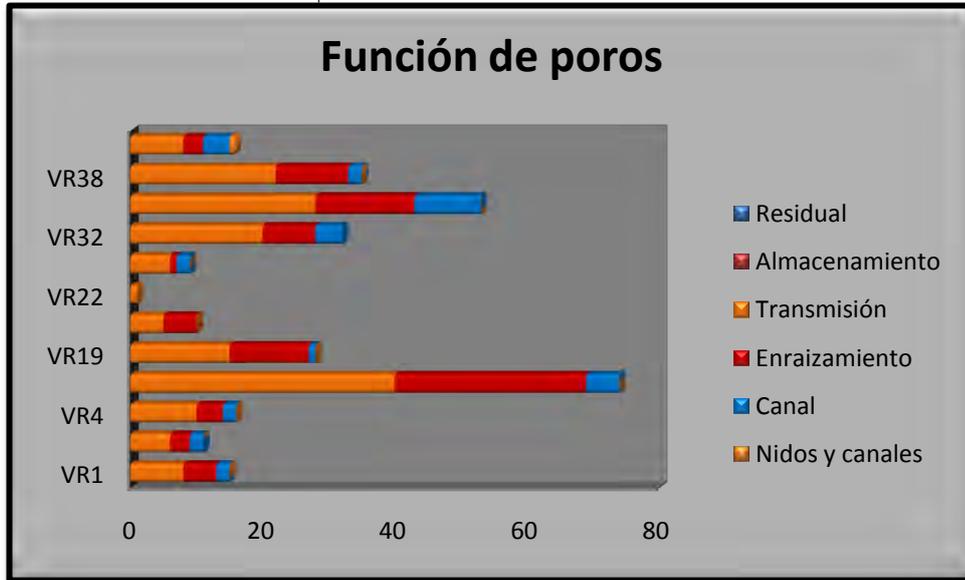


Tabla 4.103 – Número de poros por cm² - VR11

Abundancia	Muy pocos (1 - 20)	Pocos (20-50)
VR1	8	-
VR2	6	-
VR4	10	-
VR17	-	40
VR19	15	-
VR20	5	-
VR22	1	-
VR27	6	-
VR32	-	20
VR36	-	28
VR38	-	22
VR39	8	-

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

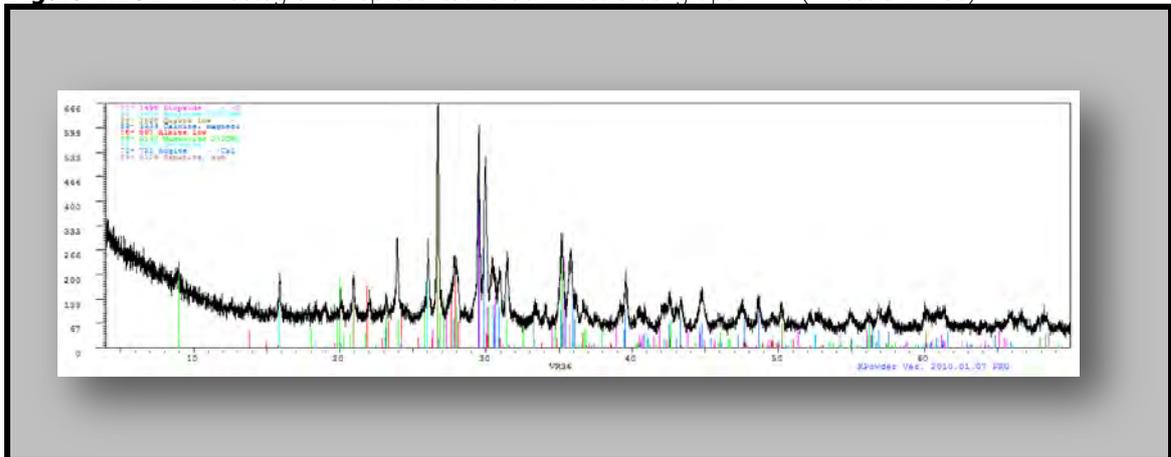
Grafico 4.39 – Función de poros



- Composición mineral

El difractograma recogido en la Figura 4.101 es representativo de la mineralogía de este grupo.

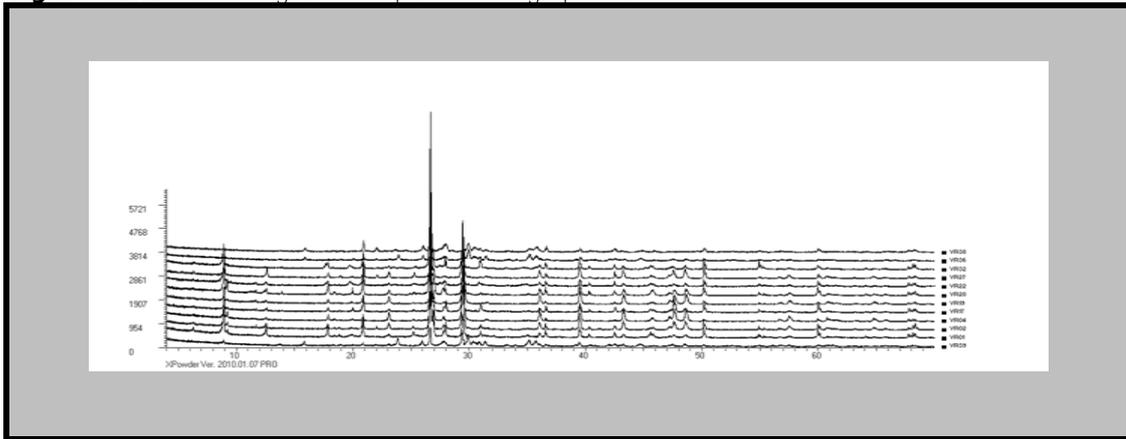
Figura 4.101 – Difractograma representativo de muestra del grupo VR11 (muestra VR-36)



La Figura 4.102 recoge los difractogramas comparados de las distintas muestras.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.102 – Difractograma comparativo del grupo VR11



Las muestras están constituidas por carbonatos (calcita y dolomita), filosilicatos (tipo moscovita / illita, caolinita y clorita), tectosilicatos (cuarzo, cristobalita y feldspatos tipo albita, ortoclasa y anortoclasa; zeolitas tipo analcima), sulfato (yeso) óxido (hematita) y inosilicatos (diópsido y augita). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.104.

Tabla 4.104 – Composición mineralógica de revestimiento (%)

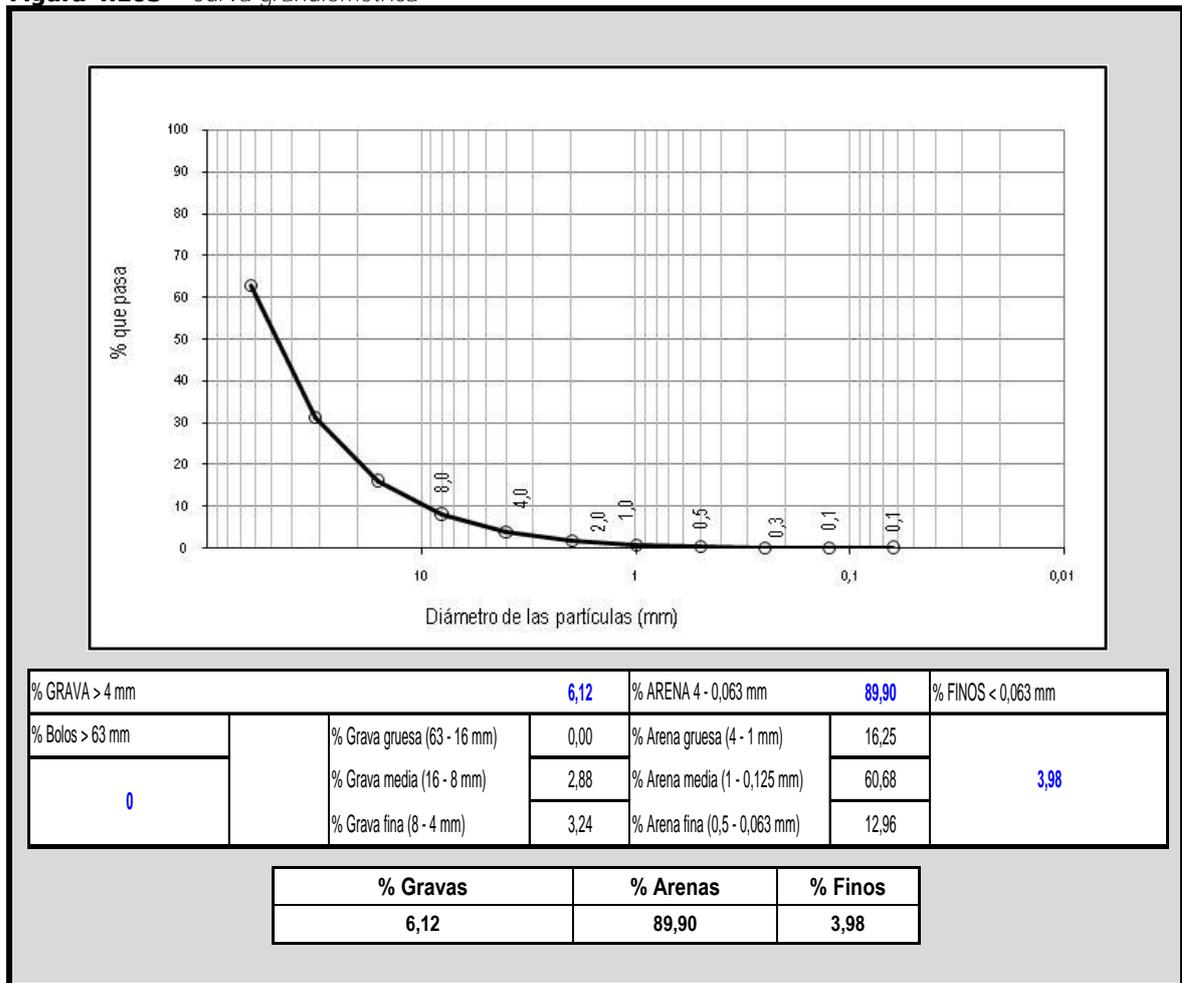
Muestras	VR1	VR2	VR4	VR17	VR19	VR20	VR22	VR27	VR32	VR36	VR38	VR39
Cuarzo	32	32	17	36	21	27	30	10	35	08	17	12
Calcita	07	18	37	10	36	12	08	54	08	07	02	09
Moscovita	38	30	20	37	26	34	37	25	31	29	24	30
Dolomita	02	02	02	04	02	01	03	01	03	03	03	04
Albita	06	09	14	04	08	16	00	06	16	16	14	18
Anortoclasa	00	00	00	00	00	00	12	00	07	00	00	00
Caolinita	04	02	03	04	04	04	06	03	00	00	00	00
Yeso	00	00	00	05	03	03	04	00	00	00	00	00
Clorita	11	07	07	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Analcima	00	00	00	00	00	03	00	00	00	02	09	11
Diópsido	00	00	00	00	00	00	00	00	00	18	14	16
Augita	00	00	00	00	00	00	00	00	00	15	00	00
Hematita	00	00	00	00	00	00	00	00	00	02	00	00
Ortoclasa	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	17	00
Cristobalita	00	00	00	00	00	00	00	01	00	00	00	00

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

- Ensayo granulométrico

Las muestras están compuestas en su mayoría por arena media, seguida de arena gruesa (Figura 4.103).

Figura 4.103 – Curva granulométrica



- Ensayo para determinación de límites de Atterberg

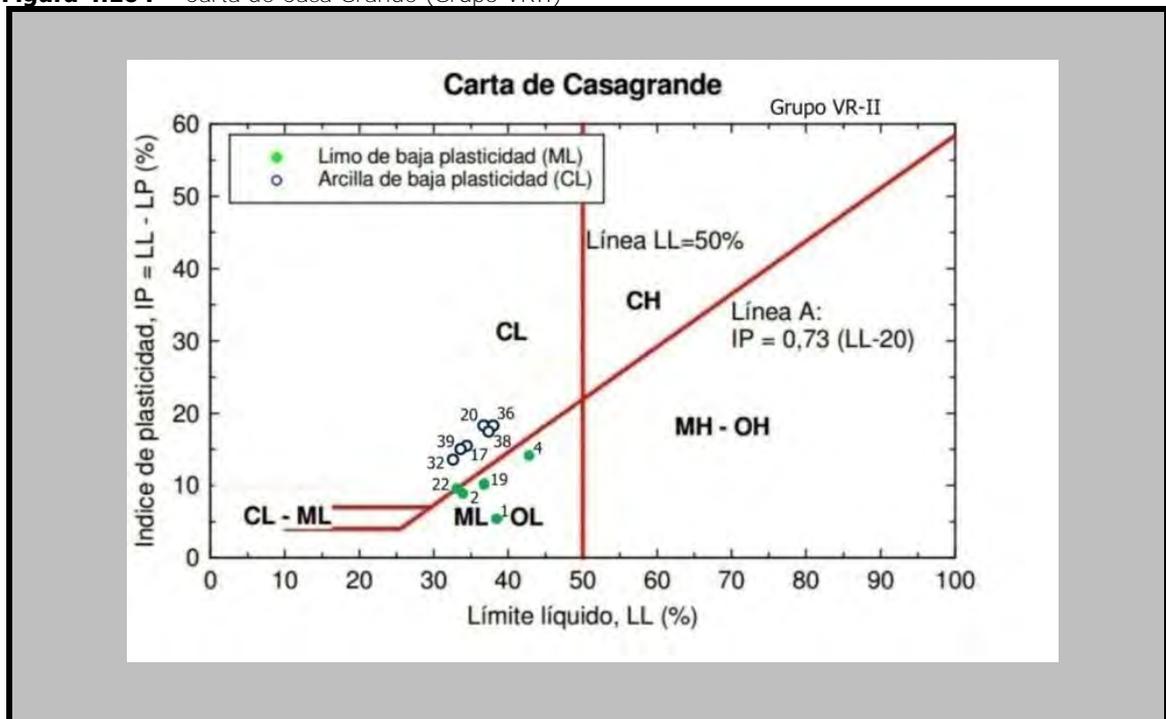
La Tabla 4.105 y la Figura 4.104 recogen los índices de Atterberg de las muestras del grupo. Se puede ver la predominancia de muestras clasificadas en arcilla de baja plasticidad (CL) en comparación con las de limo de baja plasticidad (ML)

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.105 – Límites de Atterberg

Resultado del Ensayo				
Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Clasificación
VR1	38.69	33.14	5.55	ML
VR2	33.93	24.52	9.41	ML
VR4	43.14	28.6	14.54	ML
VR17	34.2	18.74	15.46	CL
VR19	37.3	21.05	10.3	ML
VR20	36.61	18.07	18.54	CL
VR22	33.62	24.19	9.43	ML
VR27	0	0	0	Nula
VR32	32.71	18.84	13.87	CL
VR36	37.35	18.85	18.5	CL
VR38	36.72	18.87	17.85	CL
VR39	34.59	19.55	15.04	CL

Figura 4.104 – Carta de Casa Grande (Grupo VR-II)



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo VR-II comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios la cal (CaO – 13,55 a 45,91 % en peso), la sílice (SiO_2 – 1,79 a 50 % en peso), el aluminio (Al_2O_3 – 0,75 a 18,07 % en peso), los compuestos de hierro (Fe_2O_3 – 0,28 a 6,51 % en peso), el óxido de magnesio (MgO – 0,19 a 3,21 % en peso) y feldespatos ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ – 0,07 a 2,95 % en peso); mientras que los componentes minoritarios son micas, óxido de fósforo (P_2O_5 – 0,14 a 1,27 % en peso), compuestos de dióxido de titanio (TiO_2 -0,04 a 0,74 % en peso) y óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 13,7 a 32,8 % en peso. Como elementos trazas que predominan con concentración superior a 100 PPM se puede ver el estroncio (Sr), el plomo (Pb), el bario (Ba), el zirconio (Zr), el cloro (Cl), el cromo (Cr), el cobre (Cu), el zinc (Zn). Además de pequeñas cantidades de níquel (Ni), rubidio (Rb), galio (Ga), bromo (Br), itrio (Y), yodo (I) y hafnio (Hf).

Las Tablas 4.106 y 4.107 representan la composición química del grupo.

Tabla 4.106 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	SO_3	LOI
Muestras	%											
VR2	50,00	18,07	6,51	0,06	3,21	13,55	2,58	1,44	0,74	0,26	0,12	3,17
VR17	14,00	4,49	2,15	0,04	1,31	43,62	0,39	0,75	0,36	1,03	0,31	31,0
VR19	1,79	0,75	0,28	0,01	0,19	32,96	0,07	0,15	0,04	0,34	41,74	21,5
VR20	11,64	5,08	2,23	0,02	1,27	43,80	0,31	0,91	0,30	0,15	1,29	32,8
VR22	33,80	8,22	3,27	0,06	1,43	30,51	0,33	1,93	0,54	0,14	0,14	19,2
VR27	28,73	10,28	4,32	0,06	2,79	29,32	0,61	2,08	0,65	0,43	1,19	19,3
VR36	39,40	14,39	5,54	0,08	2,44	16,71	0,83	2,95	0,67	1,27	1,42	13,7
VR38	10,72	5,91	2,37	0,02	1,12	45,91	0,42	1,00	0,30	0,14	0,37	31,6
VR39	38,96	5,04	2,57	0,08	1,54	30,11	0,49	0,84	0,36	0,16	00	23,03

Tabla 4.107 - Composición química de los elementos traza

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Composición química									
Muestras	VR2	VR1 7	VR19	VR20	VR22	VR27	VR3 6	VR38	VR39
Elementos	PPM								
S	498	1255	167163	5181	560	4762	5691	1475	0
Cl	252	228	185	351	418	139	399	164	0
Cr	144	96	30	82	103	101	125	67	0
Ni	63	20	14	33	38	45	53	29	0
Cu	145	91	44	71	73	85	144	61	0
Zn	156	83	32	53	75	89	190	47	0
Ga	19	0	0	8	9	6	0	7	0
Br	5	0	0	18	0	10	0	15	0
Rb	80	0	0	0	56	84	101	0	0
Sr	679	2889	1045	590	1835	686	604	536	435
Y	54	2	0	0	0	0	13	0	0
Zr	522	166	70	146	362	244	231	0	184
I	0	44	0	0	0	0	0	54	0
Ba	0	403	52	246	765	341	1368	175	0
Hf	0	30	0	0	0	0	0	0	0
Pb	246	778	174	158	0	175	2808	92	0

Los índices de hidraulicidad del grupo están representados en la Tabla 4.108 que indican que las muestras del grupo se distribuyen entre características de cemento rápido (CR), propiamente hidráulica (PH), débilmente hidráulica (DH) y eminentemente hidráulica (EH).

Tabla 4.108 - Índice de hidraulicidad

Muestras	Índice de hidraulicidad	Clasificación
VR2	3,59	CR
VR17	0,45	EH
VR19	0,08	DH
VR20	0,41	PH
VR22	1,32	CR

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

VR27	1,17	CR
VR36	2,59	CR
VR38	0,39	PH
VR39	1,42	CR

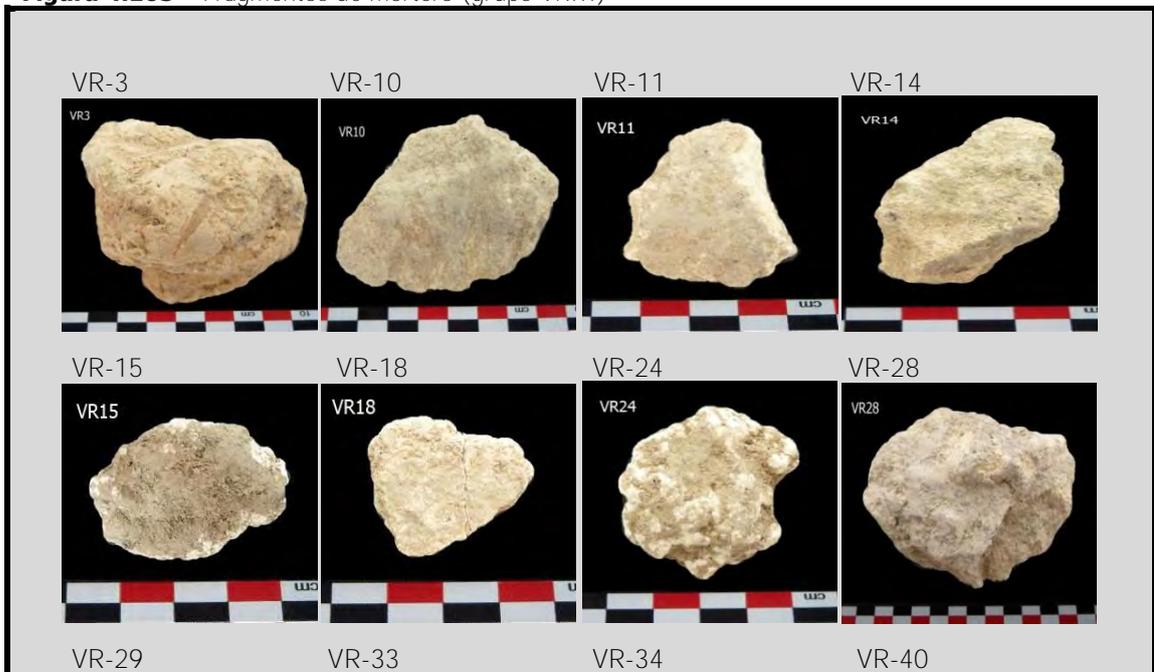
❖ Grupo VR III

Formado por 12 muestras de mortero, este grupo se caracteriza por presentar calcita, moscovita y cuarzo como componentes minerales mayoritarios y la textura general es maciza y áspera.

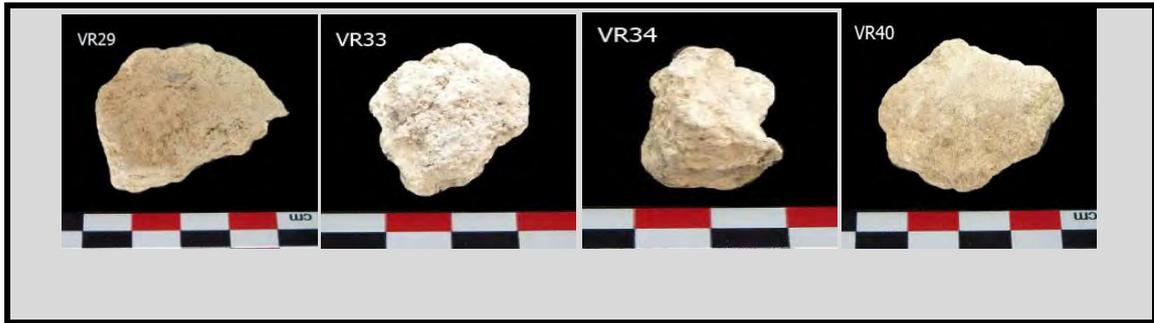
El grupo está compuesto de fragmentos con morfología irregular, de estructura compacta y sin presencia visible de material orgánico. Poseen pequeñas diferencias de color y textura, aunque sin llegar a constituir tipos diferenciados respecto a las características generales del grupo.

La Figura 4.105 muestra el aspecto que presentan los fragmentos analizados.

Figura 4.105 – Fragmentos de mortero (grupo VRIII)



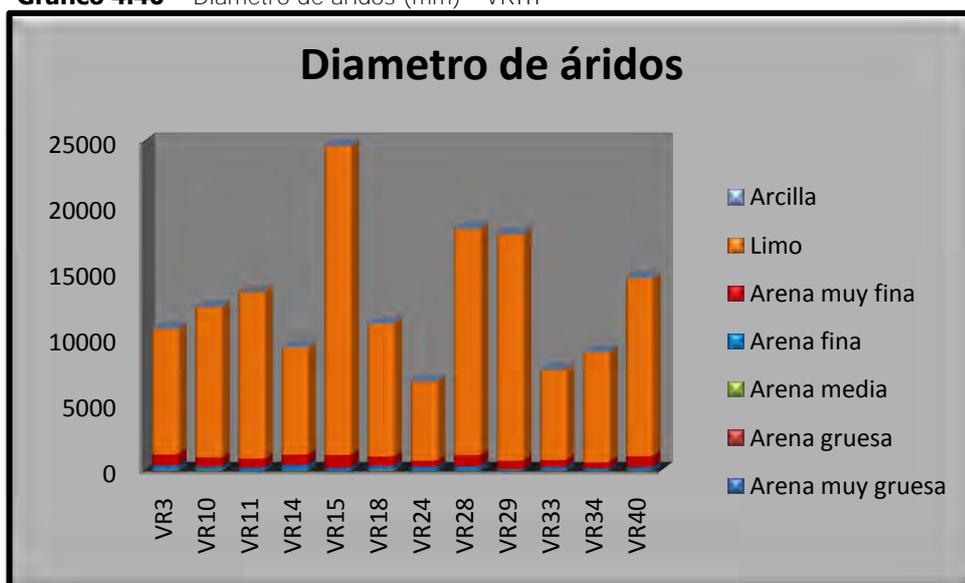
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra



- Análisis textural

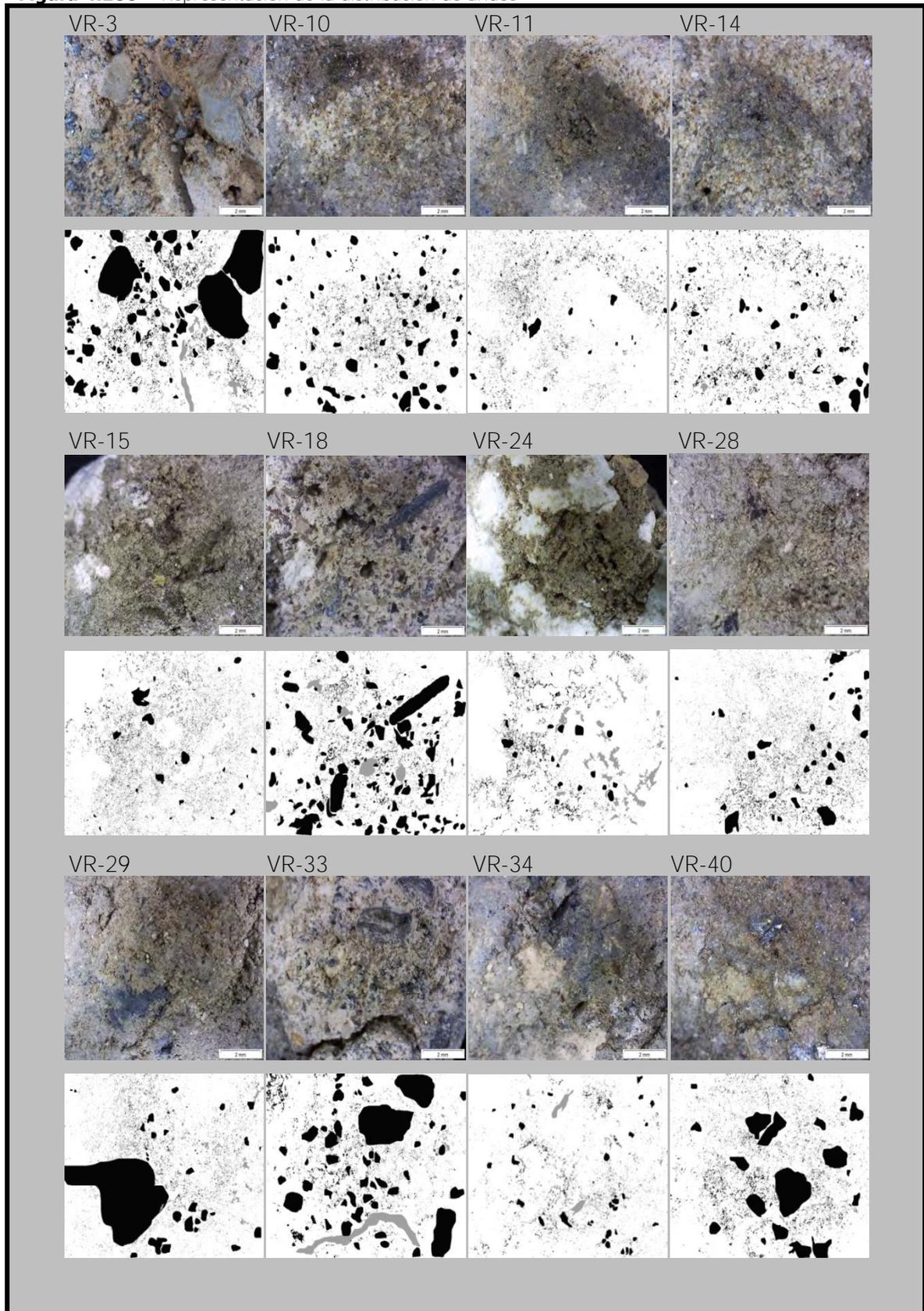
En el grupo se observa la presencia de mayoría de limo, seguido de arena de grano muy fino y fino (Gráfico 4.40). Los conglomerados poseen estructura heterogénea con características de áridos de machaqueo, de aspecto áspero, aristas vivas y sin impurezas visibles. Los áridos están bien distribuidos en VR-14, VR-15, VR-24, VR-34 y VR-40; moderadamente distribuidos en VR-3, VR-18, VR-10 y VR-33; mal distribuidos en VR-28, VR-29 y muy mal distribuidos VR-11 (Figura 4.106).

Gráfico 4.40 – Diámetro de áridos (mm) - VR III



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.106 – Representación de la distribución de áridos



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Existe predominio de poros de tamaño muy fino, seguidos de finos (Gráfico 4.41). En cuanto a la abundancia predomina la clase muy poco (Tabla 4.109). En ese grupo no se encuentran perforaciones y ni moldes de restos vegetales. Los poros poseen la categoría preponderante de transmisión, seguido de la clase de enraizamiento y de canal (Gráfico 4.42). Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales, vesiculares y planos. En ese caso no se puede certificar la utilización de elementos vegetales en la masa (Figura 4.106).

Gráfico 4.41 – Tamaño de poros (mm)

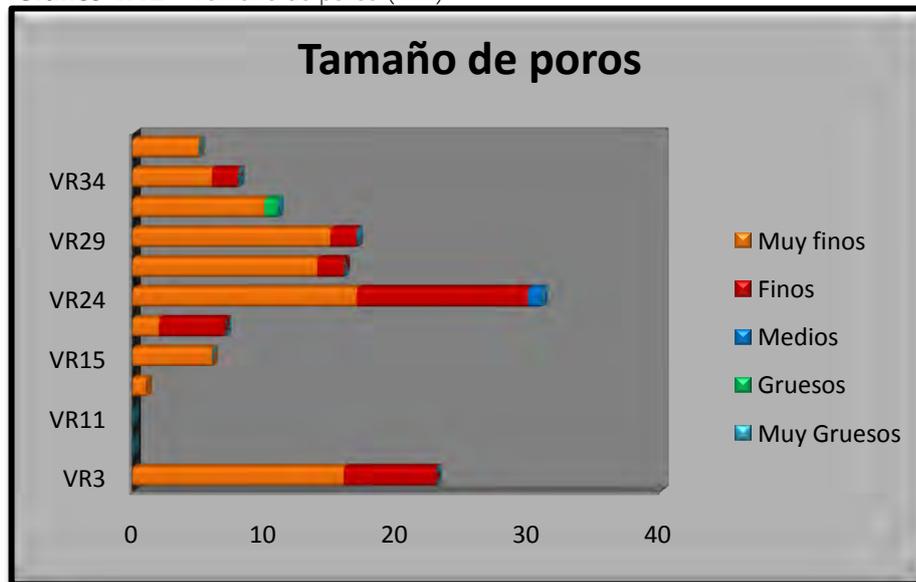


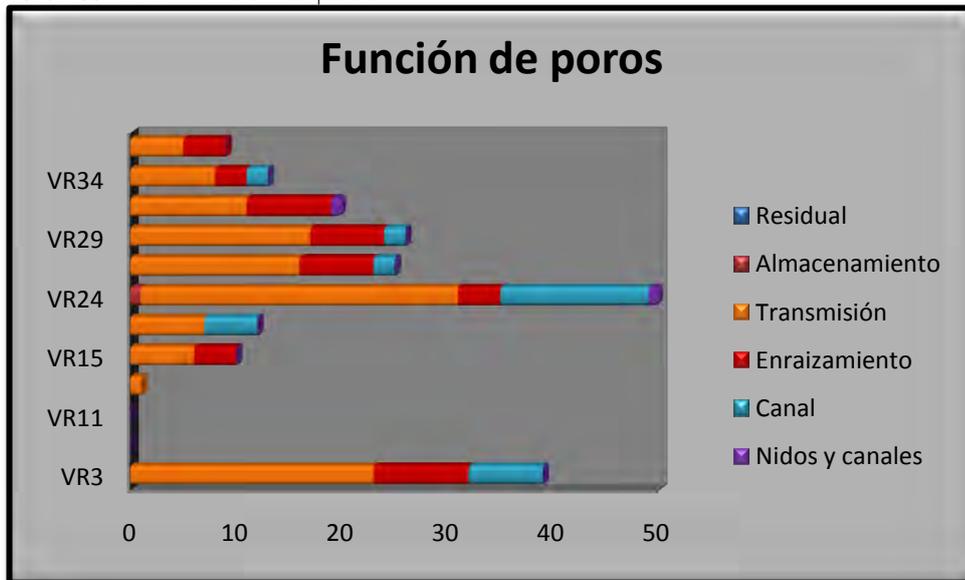
Tabla 4.109 – Número de poros por cm² - VR III

Abundancia	Muy pocos (1 - 20)	Pocos (20-50)
VR3	-	23
VR10	-	-
VR11	-	-
VR14	1	-
VR15	6	-
VR18	7	-
VR24	-	31
VR28	16	-
VR29	17	-
VR33	10	-

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

VR34	8	-
VR40	5	-

Grafico 4.42 – Función de poros

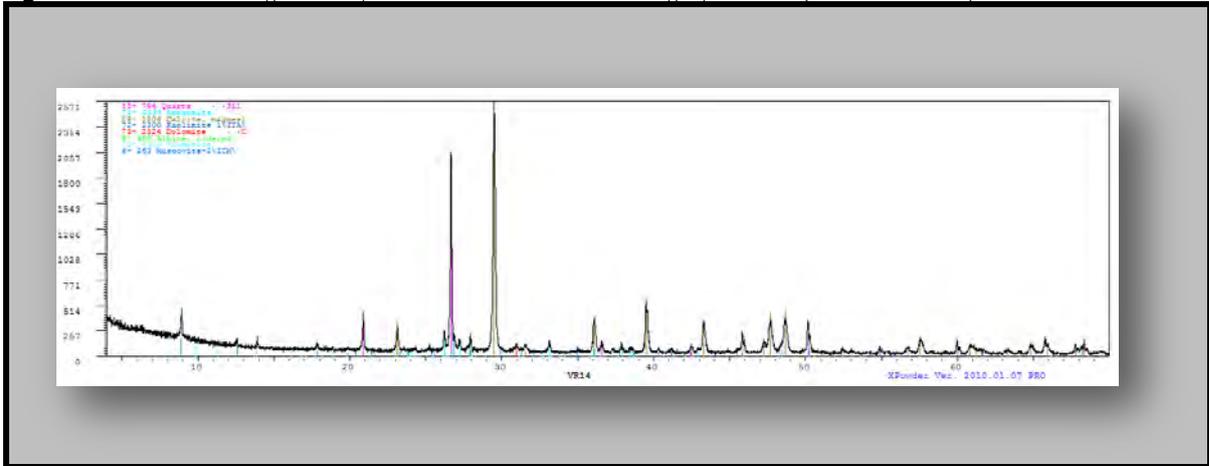


- Estudio mineralógico

El difractograma recogido en la Figura 4.107 es representativo de la mineralogía de este grupo.

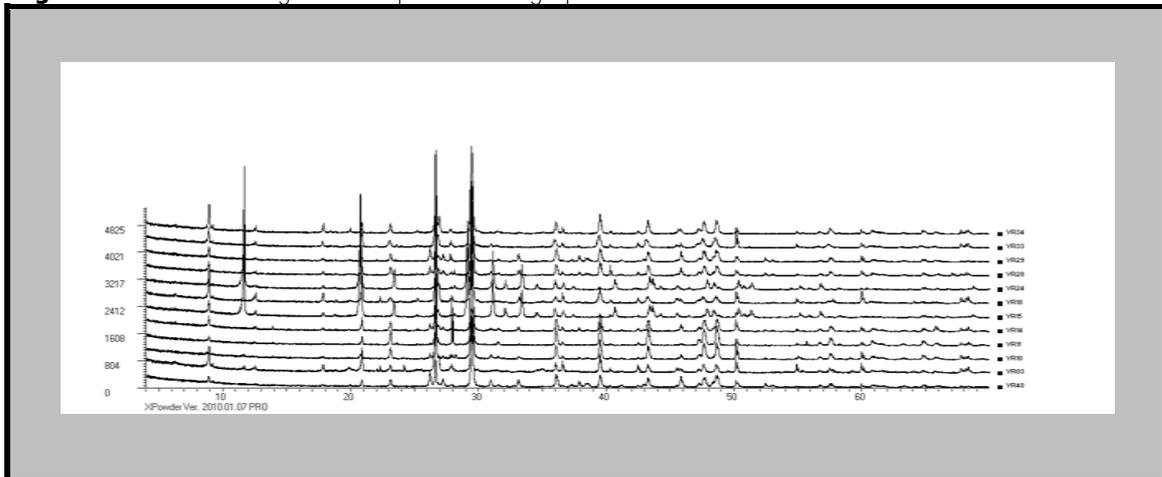
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.107 – Difractograma representativo de muestra del grupo VR111 (muestra VR-14)



La Figura 4.108 recoge los difractogramas comparados de las distintas muestras.

Figura 4.108 – Difractograma comparativo del grupo VR111



Las muestras están constituidas por carbonatos (calcita, dolomita y aragonito), filosilicatos (tipo moscovita / illita y caolinita), tectosilicatos (cuarzo y feldespatos tipo albita), sulfato (yeso y aluminita) y inosilicatos (augita). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.110.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

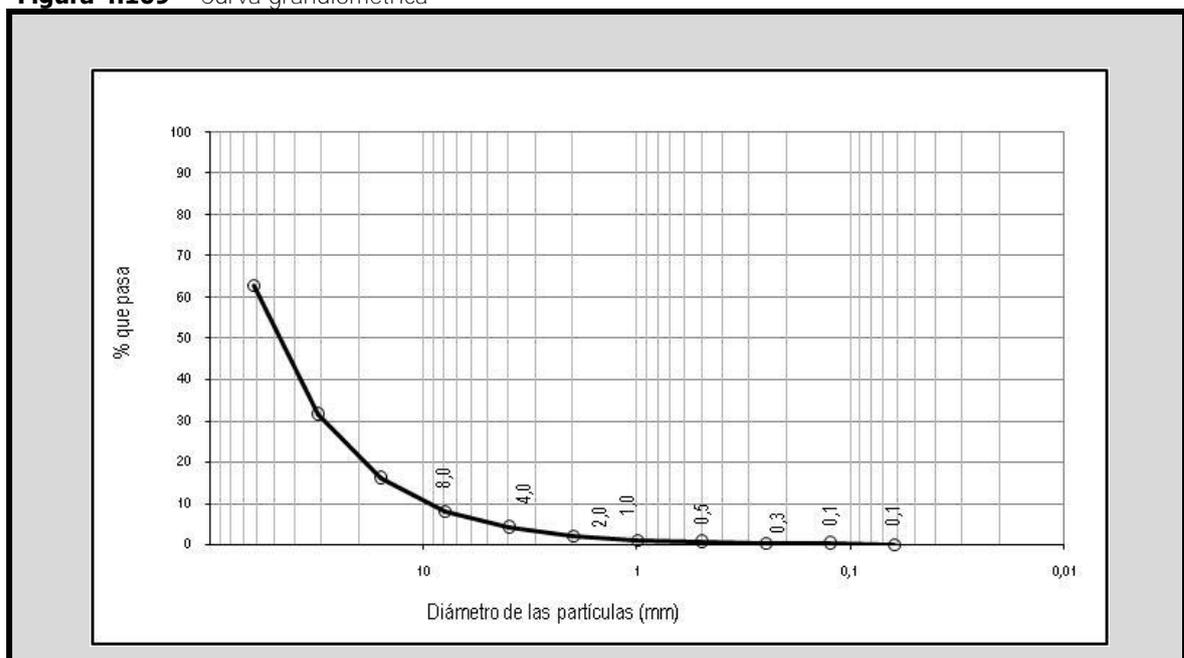
Tabla 4.110 – Composición mineralógica de revestimiento (%)

Muestras	VR3	VR010	VR11	VR14	VR15	VR18	VR24	VR28	VR29	VR33	VR34	VR40
Cuarzo	41	15	18	25	09	34	07	05	13	35	24	13
Calcita	12	44	38	32	04	12	03	36	38	25	27	30
Moscovita	36	17	14	12	18	39	15	29	15	34	27	17
Dolomita	00	03	00	02	00	00	00	03	01	00	00	05
Albita	03	10	26	04	04	03	06	09	04	03	10	08
Aragonito	00	07	00	09	00	03	00	14	22	00	00	22
Caolinita	05	00	04	06	03	09	02	04	07	03	08	05
Yeso	03	04	00	00	62	00	67	00	00	00	00	00
Aluminita	00	00	00	10	00	00	00	00	00	00	00	00
Augita	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	04	00

- Ensayo granulométrico

Las muestras están compuestas mayoritariamente de arena media, seguida por arena gruesa (Figura 4.109).

Figura 4.109 – Curva granulométrica



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

% GRAVA > 4 mm		1,21	% ARENA 4 - 0,063 mm		93,01	% FINOS < 0,063 mm
% Bolos > 63 mm	% Grava gruesa (63 - 16 mm)	0,00	% Arena gruesa (4 - 1 mm)	21,67	5,78	
0	% Grava media (16 - 8 mm)	0,00	% Arena media (1 - 0,125 mm)	57,10		
	% Grava fina (8 - 4 mm)	1,21	% Arena fina (0,5 - 0,063 mm)	14,24		
% Gravas		1,21	% Arenas		93,01	% Finos
		1,21			93,01	5,78

- Ensayo para determinación de límites de Atterberg

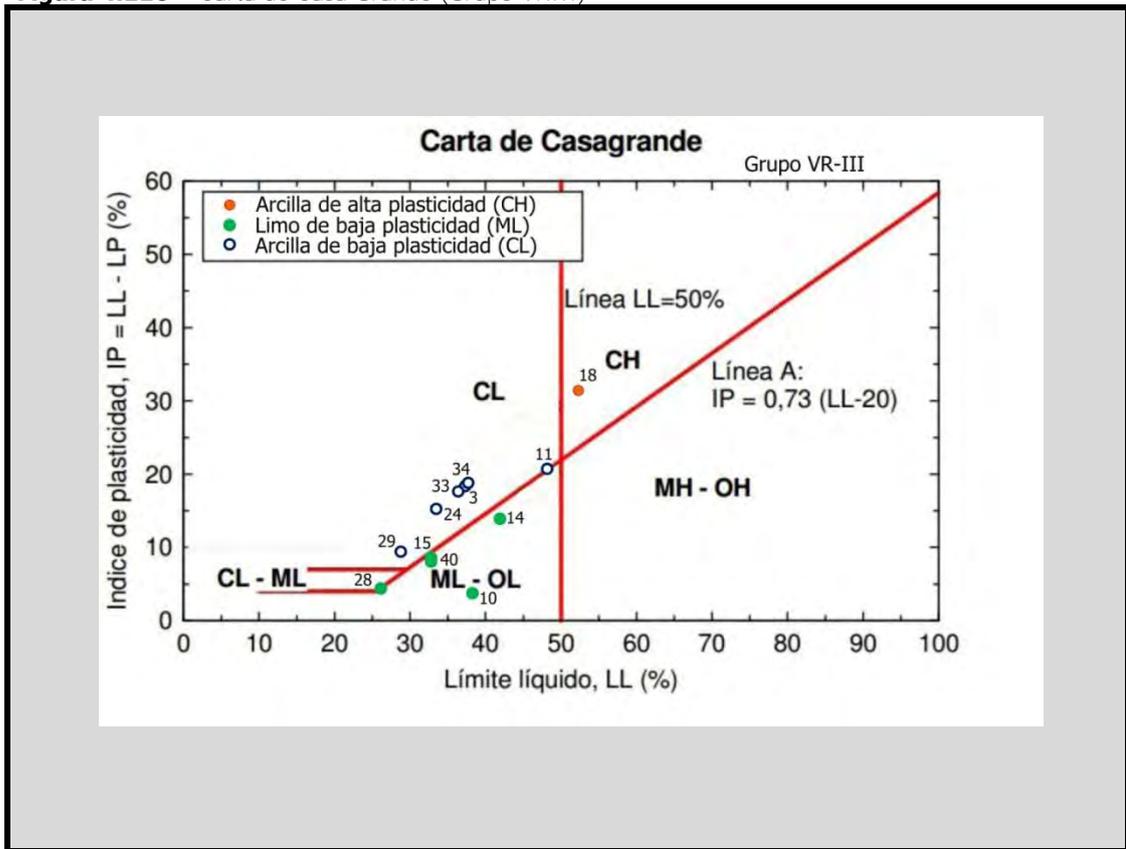
La Tabla 4.111 y la Figura 4.110 recogen los índices de Atterberg de las muestras del grupo. Se puede ver la predominancia de muestras clasificadas en arcilla de baja plasticidad (CL) en comparación con las de limo de baja plasticidad (ML)

Tabla 4.111 – Límites de Atterberg

Resultado del Ensayo				
Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Clasificación
VR3	37.14	18.97	18.17	CL
VR10	37.95	34.05	3.90	ML
VR11	48.17	27.19	20.98	CL
VR14	42.73	28.54	14.19	ML
VR15	33.51	24.84	8.67	ML
VR18	52.12	20.85	31.17	CH
VR24	34.30	18.65	15.65	CL
VR28	26.08	21.49	4.59	ML
VR29	28.49	18.87	9.62	CL
VR33	36.20	18.27	17.93	CL
VR34	37.64	18.66	18.98	CL
VR40	33.91	25.88	8.03	ML

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.110 – Carta de Casa Grande (Grupo VR-III)



- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo VR-III comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios la cal (CaO – 12,71 a 53,07 % en peso), la sílice (SiO_2 – 6,38 a 42,95 % en peso), el aluminio (Al_2O_3 – 1,85 a 17,11 % en peso), los compuestos de hierro (Fe_2O_3 – 1,04 a 6,09 % en peso), el óxido de magnesio (MgO – 0,42 a 3,71 % en peso) y feldespatos ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ – 0,16 a 3,82 % en peso); mientras que los componentes minoritarios son micas, compuestos de dióxido de titanio (TiO_2), óxido de fósforo (P_2O_5) y óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 7,94 a 35,3 % en peso. Como elementos traza que predominan con concentración superior a 100 PPM se puede ver el estroncio (Sr), el bario (Ba), el plomo (Pb), el zirconio (Zr), el cloro (Cl), el cromo (Cr), el cobre (Cu), el zinc (Zn) y rubidio (Rb). Además de pequeñas cantidades de yodo (I), níquel (Ni), galio (Ga), bromo (Br), itrio (Y) y arsénico (As).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Las Tablas 4.112 y 4.113 representan la composición química del grupo.

Tabla 4.112 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
Muestras	%											
VR3	41,05	14,32	5,97	0,13	3,71	20,48	1,82	1,41	0,63	0,3	1,57	7,94
VR14	6,38	2,50	1,04	0,02	0,42	30,64	0,16	0,51	0,15	0,26	37,8	19,9
VR15	42,95	17,11	6,09	0,06	2,23	12,71	0,92	3,82	0,71	0,53	1,59	10,9
VR18	28,68	10,33	3,97	0,05	1,51	30,33	0,75	1,70	0,64	0,31	0,72	20,5
VR29	7,00	2,10	1,49	0,04	0,92	51,27	0,27	0,33	0,24	0,18	0,22	35,3
VR33	8,70	2,00	1,60	0,03	1,04	51,77	0,21	0,34	0,23	0,17	1,63	32,0
VR34	9,19	1,85	1,48	0,02	0,72	53,07	0,22	0,28	0,24	0,13	0,26	32,3

Tabla 4.113 - Composición química de los elementos traza

Composición química							
Muestras	VR3	VR14	VR15	VR18	VR29	VR33	VR34
Elementos	PPM						
S	6276	151379	6378	2889	874	6528	1024
Cl	395	99	363	193	110	105	71
Cr	202	53	123	128	96	63	65
Ni	88	19	69	38	27	18	13
Cu	251	64	94	192	150	127	190
Zn	156	45	150	120	74	64	87
Ga	18	0	20	18	14	0	6
As	47	0	0	0	0	42	35
Br	4	0	7	13	0	7	0
Rb	43	0	211	121	3	3	4
Sr	1775	586	661	1257	4773	1697	1421
Y	33	5	47	0	0	8	4
Zr	358	94	392	1037	195	93	86
I	0	0	0	414	0	131	0
Ba	1167	221	486	405	148	50	118
Pb	1186	600	299	599	138	0	177

Los índices de hidraulicidad del grupo están representados en la Tabla 4.114 que indican que las muestras del grupo se distribuyen entre características de cemento rápido (CR) y medianamente hidráulica (EH).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.114 - Índice de hidráulicidad

Muestras	Índice de hidráulicidad	Clasificación
VR3	2,24	CR
VR14	0,31	MH
VR15	3,36	CR
VR18	1,25	CR
VR29	0,2	MH
VR33	0,23	MH
VR34	0,23	MH

❖ Grupo VR IV

Formado por 4 muestras de mortero, este grupo se caracteriza por presentar calcita, moscovita y cuarzo como componentes minerales mayoritarios, excepto en una muestra en que en yeso es predominante. La textura general es maciza y áspera.

El grupo está compuesto de fragmentos con morfología irregular, de estructura compacta y sin presencia visible de material orgánico. Poseen pequeñas diferencias de color y textura, aunque sin llegar a constituir tipos diferenciados respecto a las características generales del grupo.

La figura 4.111 muestra el aspecto que presentan los fragmentos analizados.

Figura 4.111 – Fragmentos de mortero (grupo VR-IV)



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

- Análisis textural

En el grupo se observa la presencia de mayoritaria de limo, seguido de arena de grano muy fino y fino (Gráfico 4.43). Los conglomerados poseen estructura heterogénea con características de áridos de machaqueo, de aspecto áspero, aristas vivas y sin impurezas visibles. Los áridos están moderadamente distribuidos en VR16 y VR-26 bien distribuidos en VR-31, y mal distribuidos en VR-7 (Figura 4.112).

Gráfico 4.43– Diámetro de áridos (mm) - VRIV

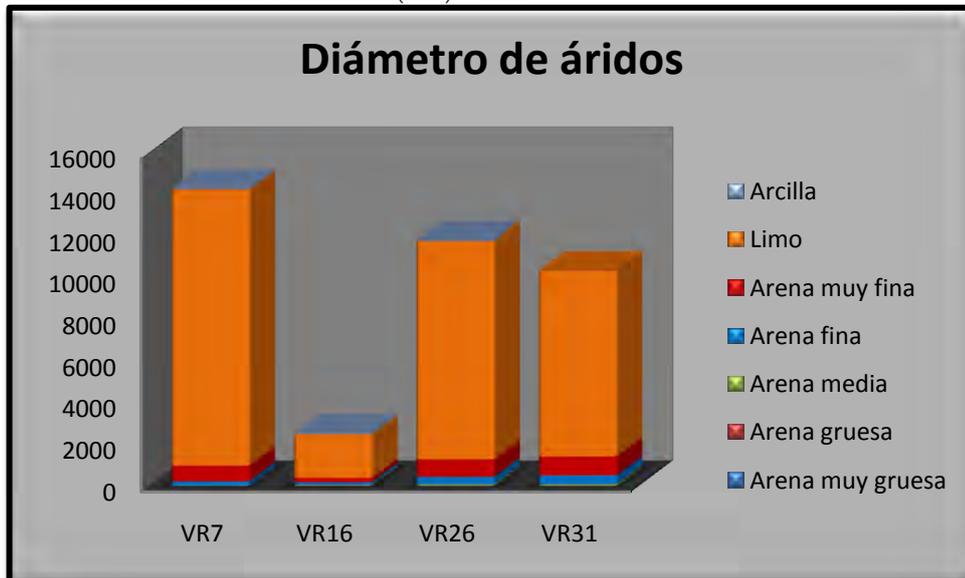
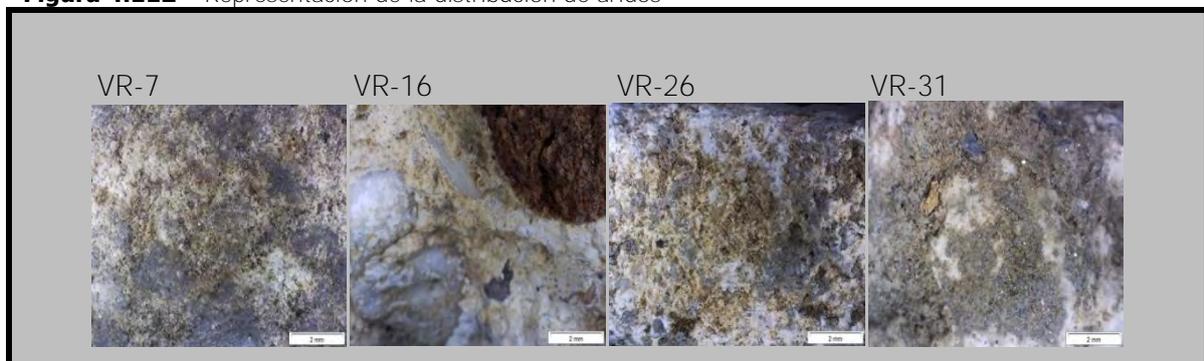
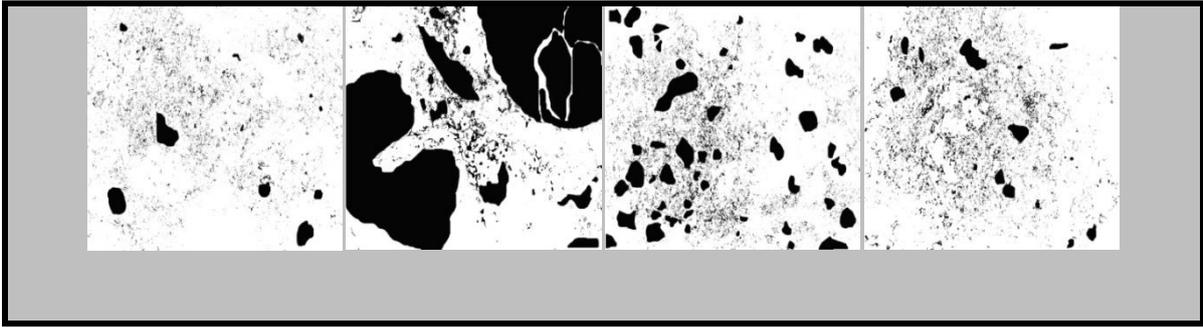


Figura 4.112 – Representación de la distribución de áridos



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

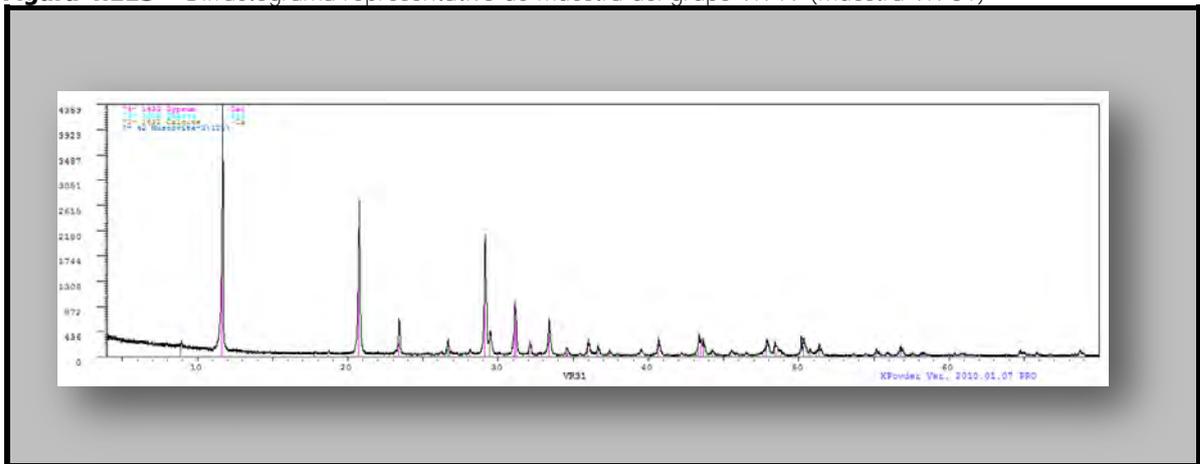


En ese grupo no encontramos poros, perforaciones y ni moldes de restos vegetales.

- Estudio mineralógico

El difractograma recogido en la Figura 4.113 es representativo de la mineralogía de este grupo.

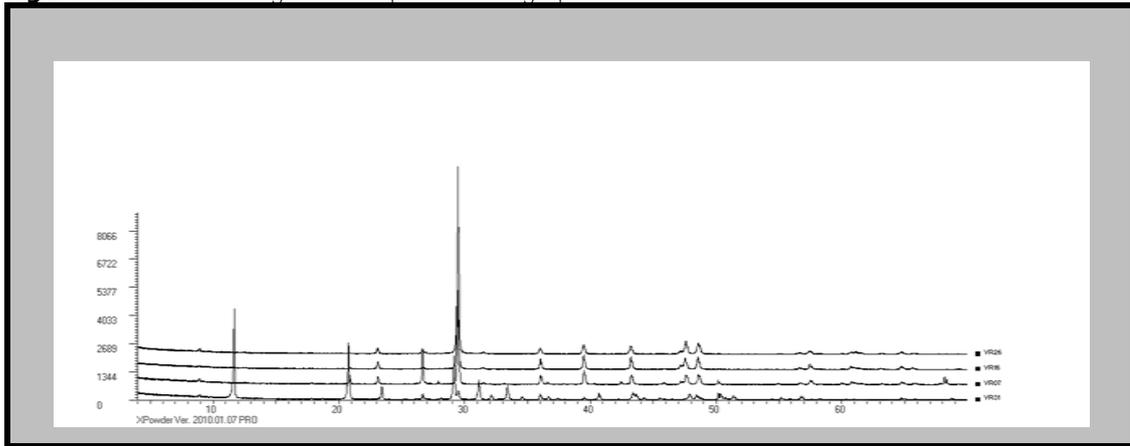
Figura 4.113 – Difractograma representativo de muestra del grupo VR-IV (muestra VR-31)



La Figura 4.114 recoge los difractogramas comparados de las distintas muestras.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.114 – Difractograma comparativo del grupo VR-IV



Las muestras están constituidas por carbonatos (calcita), filosilicatos (tipo moscovita / illita), tectosilicatos (cuarzo y feldespatos tipo albita) y sulfato (yeso). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.115.

Tabla 4.115 – Composición mineralógica de revestimiento (%)

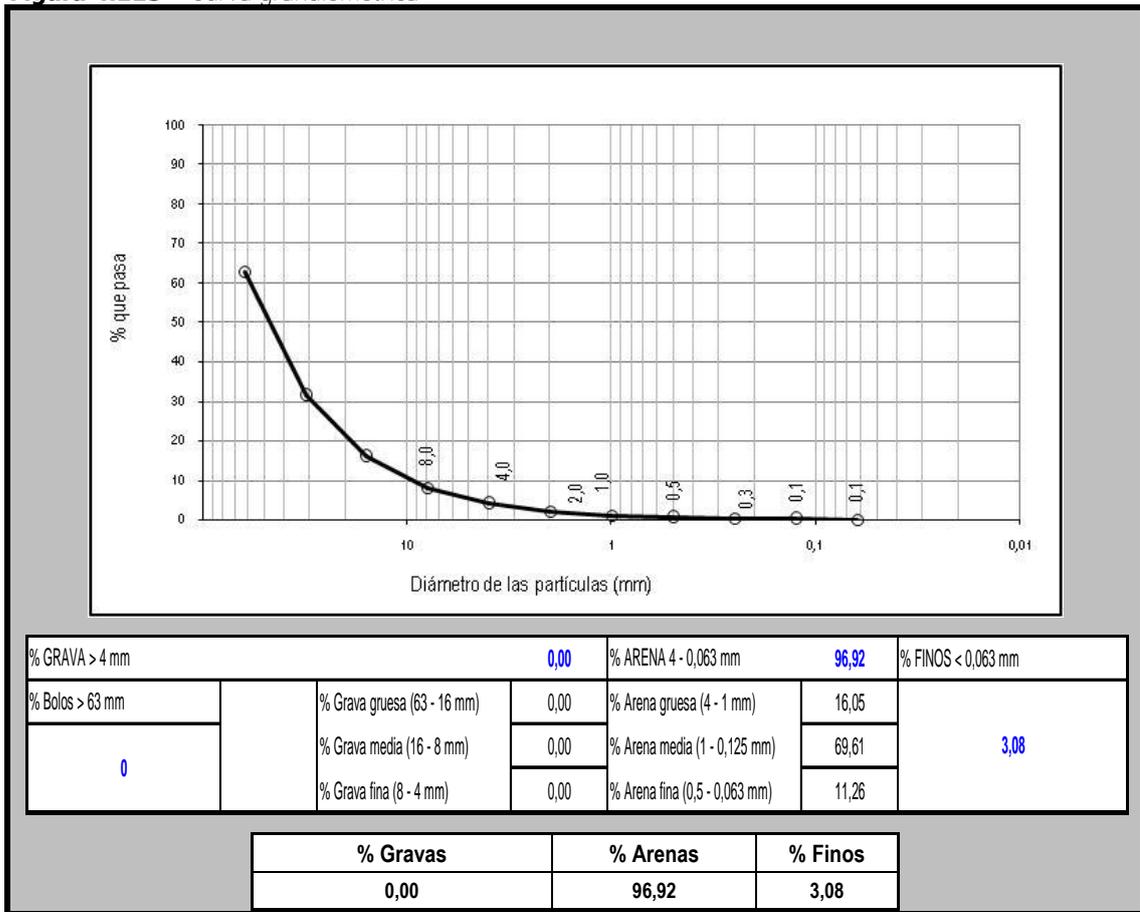
Muestras	VR07	VR16	VR26	VR31
Cuarzo	29.0	03.2	00.7	02.6
Calcita	58.0	64.3	81.4	05.5
Moscovita	00.9	32.5	17.8	07.0
Albita	12.1	00.0	00.0	00.0
Yeso	00.0	00.0	00.0	84.9

- Ensayo granulométrico

Las muestras están compuestas mayoritariamente de arena media, seguida por arena gruesa (Figura 4.115).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.115 – Curva granulométrica



Los límites de Atterberg del grupo VR-IV fueron nulos debido a la gran incidencia de cal e yeso en las muestras.

- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo VR-IV comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios la cal (CaO – 24,99 a 32,14 % en peso), la sílice (SiO₂ – 3,17 a 30,63 % en peso), el aluminio (Al₂O₃ – 1,28 a 5,03 % en peso), los compuestos de hierro (Fe₂O₃ – 0,46 a 3,12 % en peso); mientras que los componentes minoritarios son el óxido de magnesio (MgO) y feldspatos (Na₂O + K₂O), micas, compuestos de dióxido de titanio (TiO₂), óxido de fósforo (P₂O₅) y óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 15,2 a 22,26 % en peso. Como elementos traza que predominan con concentración superior a 100

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

PPM se puede ver el estroncio (Sr), el zirconio (Zr), el cloro (Cl), el plomo (Pb) y el bario (Ba). Además de pequeñas cantidades de cobre (Cu), cromo (Cr) y níquel (Ni).

Las Tablas 4.116 y 4.117 representan la composición química del grupo.

Tabla 4.116 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
Muestras	%											
VR07	30,63	5,03	3,12	0,07	0,78	24,99	0,36	1,14	0,48	0,15	00	22,26
VR31	3,17	1,28	0,46	0,01	0,24	32,14	0,10	0,27	0,06	0,42	41,16	15,2

Tabla 4.117 - Composición química de los elementos traza

Composición química		
Muestras	VR07	VR31
Elementos	PPM	
S	0	164831
Cl	0	196
Cr	0	36
Ni	0	11
Cu	0	47
Sr	628	1149
Zr	158	53
Ba	0	102
Pb	0	124

Los índices de hidraulicidad del grupo están representados en la Tabla 4.118 que indican que las muestras del grupo tienen características entre cemento rápido (CR) y pasta medianamente hidráulica (MH).

Tabla 4.118 - Índice de hidraulicidad

Muestras	Índice de hidraulicidad	Clasificación
VR07	1,42	CR
VR31	0,15	MH

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

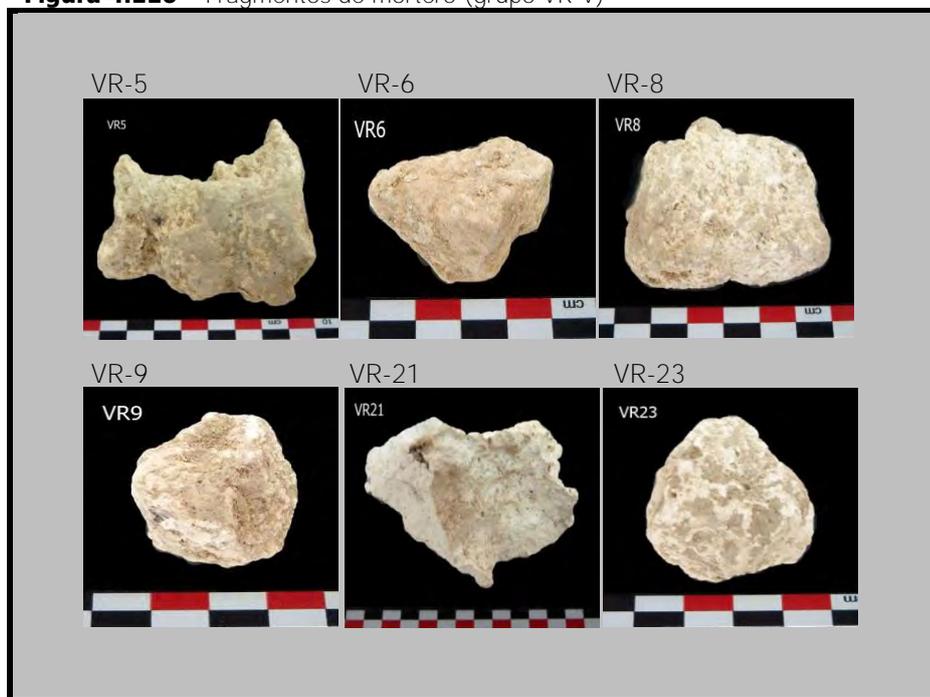
❖ Grupo VR V

Formado por 6 muestras de mortero, este grupo se caracteriza por presentar yeso, cuarzo como componentes minerales mayoritarios y la textura general es maciza y áspera.

El grupo está compuesto de fragmentos con morfología irregular, de estructura compacta y sin presencia visible de material orgánico. Poseen pequeñas diferencias de color y textura, aunque sin llegar a constituir tipos diferenciados respecto a las características generales del grupo.

La figura 4.116 muestra el aspecto que presentan los fragmentos analizados.

Figura 4.116 – Fragmentos de mortero (grupo VR-V)



- Análisis textural

En el grupo se observa la presencia de mayoritaria de limo, seguido de arena de grano muy fino y fino (Gráfico 4.44). Los conglomerados poseen estructura heterogénea con características de áridos de machaqueo, de aspecto áspero, aristas vivas y sin impurezas visibles. Los áridos bien distribuidos en VR05, mal distribuidos en VR-06, VR-08, VR-09 y VR-23, y muy mal distribuidos en VR-21 (Figura 4.117).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Gráfico 4.44 – Diámetro de áridos (mm) - VRV

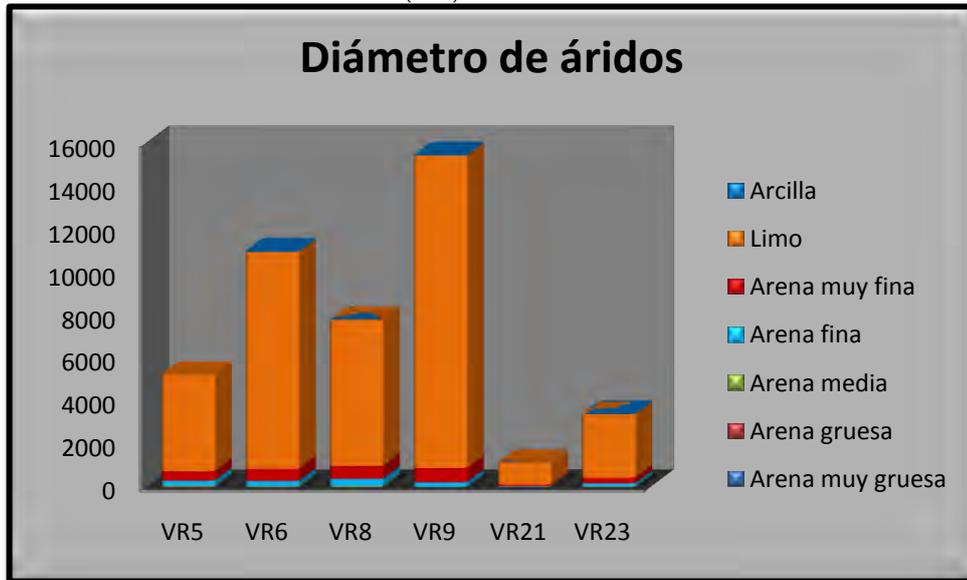
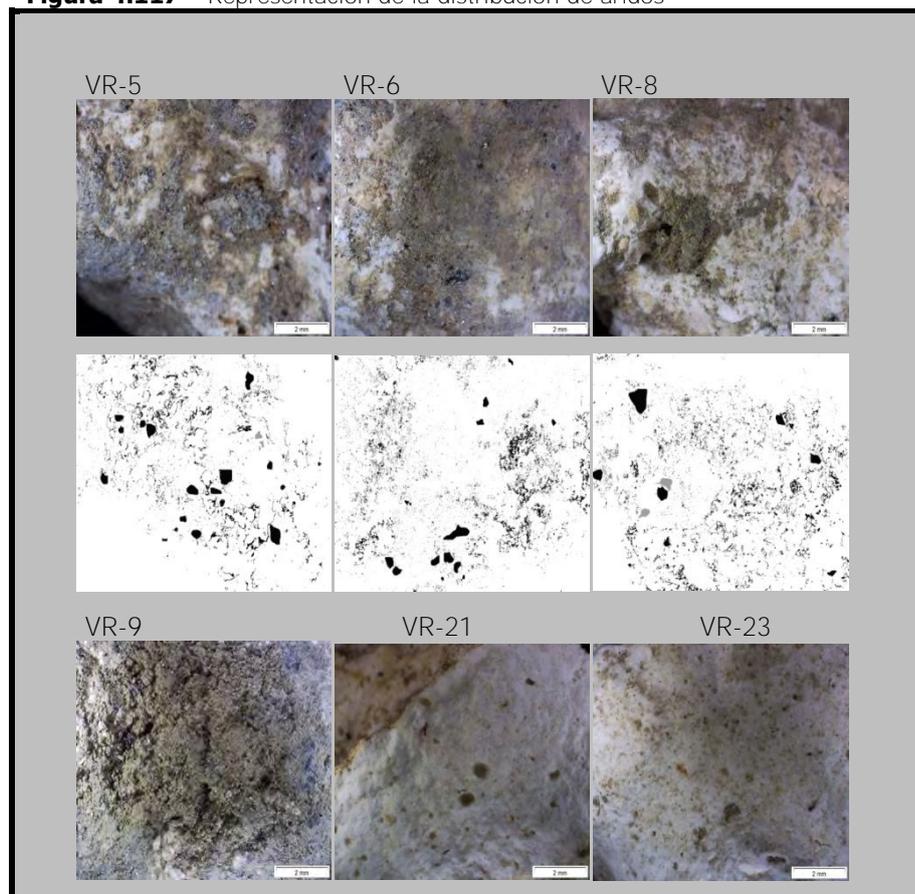
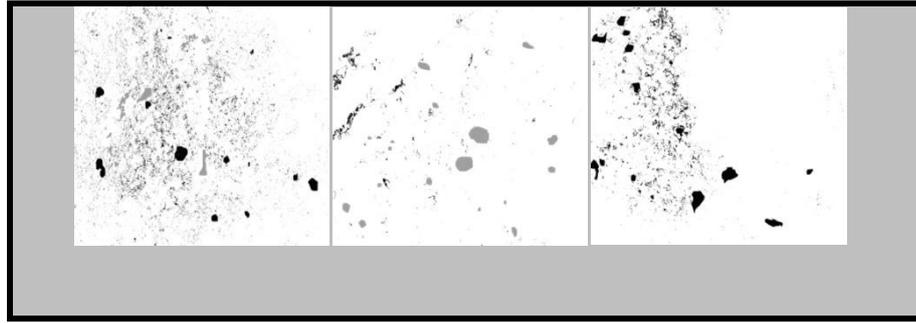


Figura 4.117 – Representación de la distribución de áridos



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra



Existe predominio de poros de tamaño muy fino, seguidos de finos (Gráfico 4.45). En cuanto a la abundancia predomina la clase muy poco (Tabla 4.119). En ese grupo no se encuentran perforaciones y ni moldes de restos vegetales. Los poros poseen la categoría preponderante de transmisión, seguido de la clase de enraizamiento y de canal (Gráfico 4.46). Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales, vesiculares y planos. En ese caso no se puede certificar la utilización de elementos vegetales en la masa (Figura 4.117).

Gráfico 4.45 – Tamaño de poros (mm)

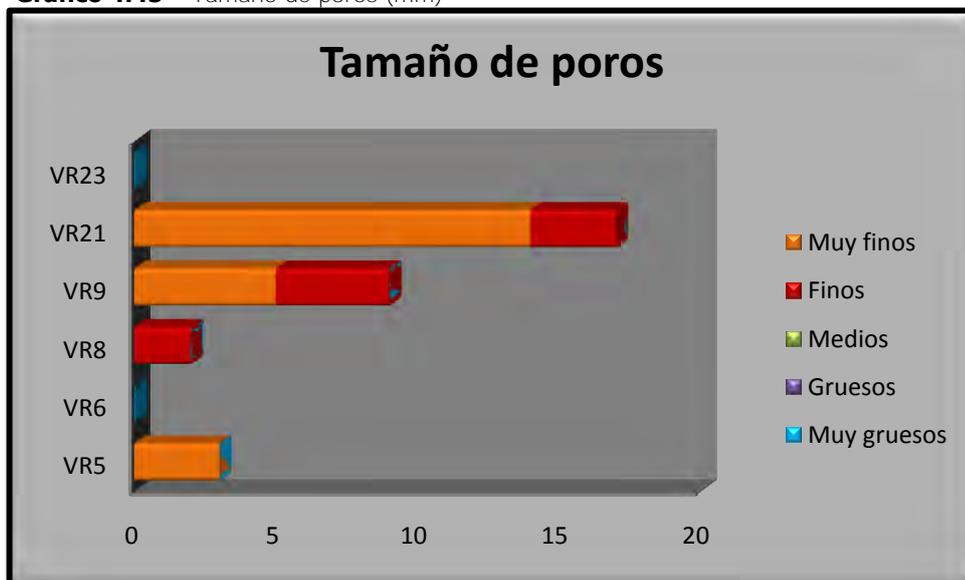


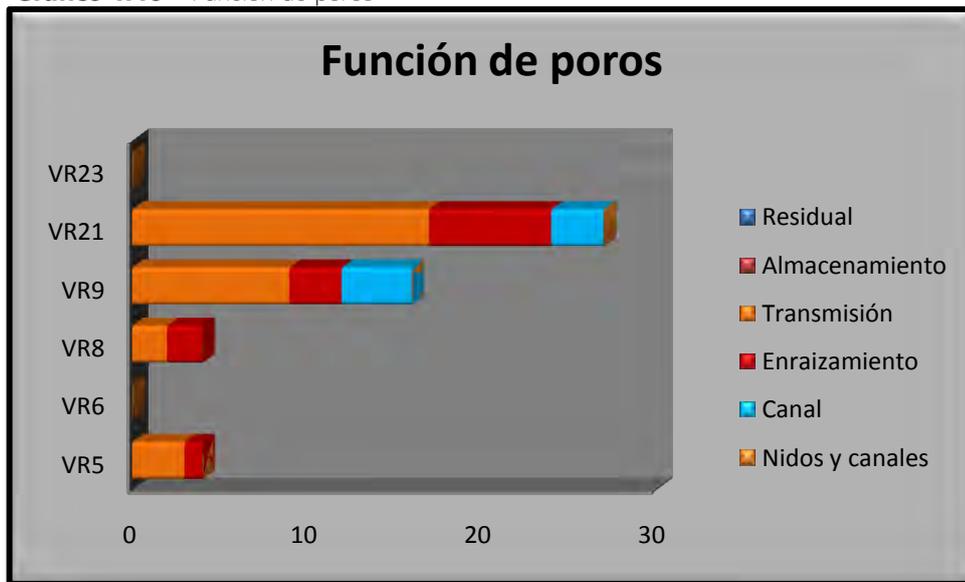
Tabla 4.119 – Número de poros por cm^2 - VRV

Abundancia	Muy pocos (1 - 20)
VR5	3
VR6	-

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

VR8	2
VR9	9
VR21	17
VR23	-

Gráfico 4.46 – Función de poros

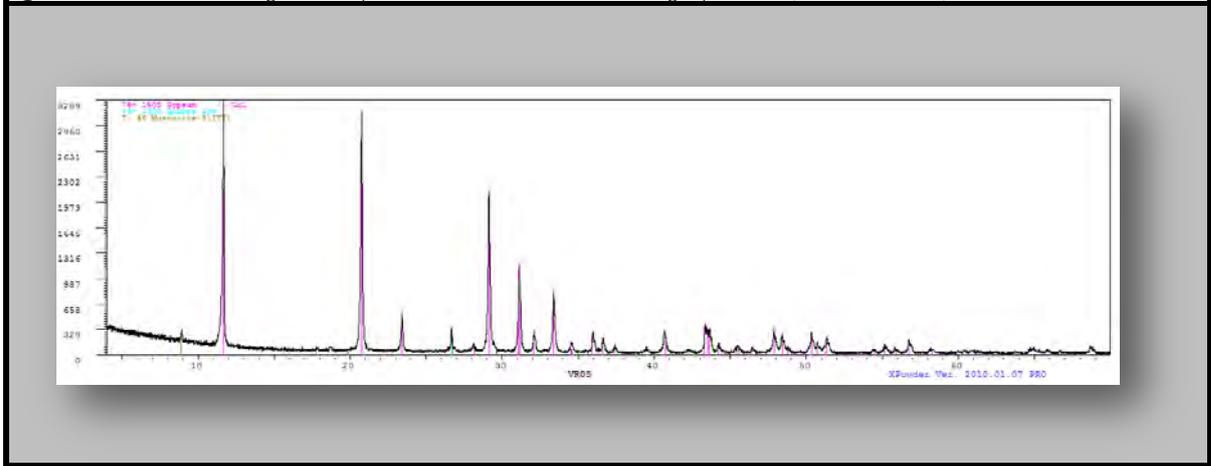


- Estudio mineralógico

El difractograma recogido en la Figura 4.118 es representativo de la mineralogía de este grupo.

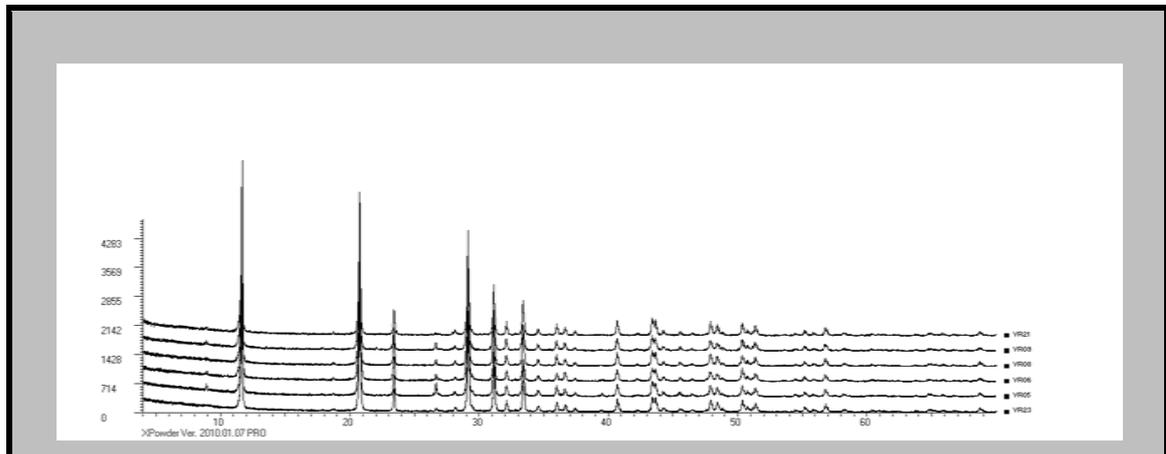
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.118 – Difractograma representativo de muestra del grupo VRV (muestra VR-5)



La Figura 4.119 recoge los difractogramas comparados de las distintas muestras.

Figura 4.119 – Difractograma comparativo del grupo VR-V



Las muestras están constituidas por filosilicatos (tipo moscovita / illita), tectosilicatos (cuarzo) y sulfato (yeso). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.120.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

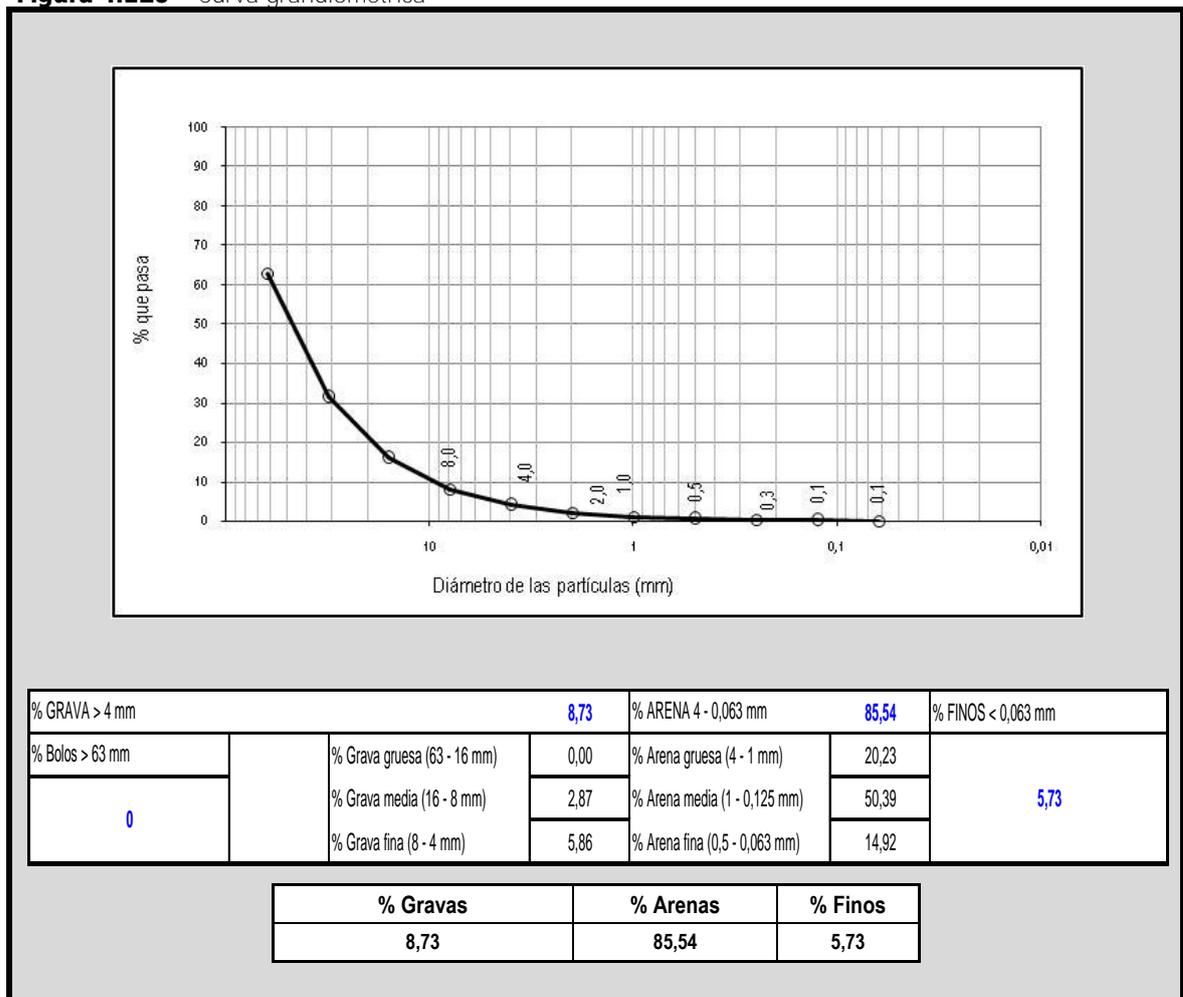
Tabla 4.120 – Composición mineralógica de revestimiento (%)

Muestras	VR05	VR06	VR08	VR09	VR21	VR23
Cuarzo	06	03	02	02	01	02
Moscovita	11	04	00	00	00	00
Yeso	83	93	98	98	99	98

- Ensayo granulométrico

Las muestras están compuestas por mayoría de arena media, seguida por arena gruesa (Figura 4.120).

Figura 4.120 – Curva granulométrica



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Los límites de Atterberg del grupo VR-V fueron nulos debido a la gran incidencia de yeso en las muestras.

- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo VR-V comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios la sílice (SiO_2 – 19,32 a 41,7 % en peso), la cal (CaO – 16,4 a 27,9 % en peso), el aluminio (Al_2O_3 – 4,97 a 14,76 % en peso), los compuestos de hierro (Fe_2O_3 – 2,36 a 5,44 % en peso) y el óxido de magnesio (MgO – 1 a 2,5 % en peso); mientras que los componentes minoritarios son los feldespatos ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), micas, compuestos de dióxido de titanio (TiO_2), óxido de fósforo (P_2O_5) y óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 12,9 a 26,41 % en peso. Como elementos traza que predominan con concentración superior a 100 PPM se puede ver el cloro (Cl), el estroncio (Sr), el bario (Ba), el zirconio (Zr), el plomo (Pb), el zinc (Zn), el cromo (Cr), el cobre (Cu), y el rubidio (Rb). Además de pequeñas cantidades de níquel (Ni), itrio (Y), arsénio (As), galio (Ga) y bromo (Br).

Las Tablas 4.121 y 4.122 representan la composición química del grupo.

Tabla 4.121 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	SO_3	LOI
Muestras	%											
VR6	19,32	4,97	2,36	0,05	1,00	27,30	0,33	1,15	0,50	1,00	00	26,41
VR9	41,70	14,76	5,44	0,09	2,50	16,40	1,06	3,00	0,80	0,70	0,22	12,9
VR23	34,53	7,75	4,70	0,09	2,20	27,90	0,84	1,40	0,60	0,20	2,76	16,4

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.122 - Composición química de los elementos traza

Composición química			
Muestras	VR6	VR9	VR23
Elementos	PPM		
S	0	861	11047
Cl	0	385	3232
Cr	0	124	203
Ni	0	55	58
Cu	0	107	503
Zn	0	133	335
Ga	0	0	13
As	0	0	44
Br	0	0	7
Rb	0	181	50
Sr	622	902	673
Y	0	57	0
Zr	126	790	179
Ba	0	516	1048
Pb	0	1576	120

Los índices de hidráulicidad del grupo están representados en la Tabla 4.123 que indican que las muestras del grupo tienen características de cemento rápido (CR).

Tabla 4.123 - Índice de hidráulicidad

Muestras	Índice de hidráulicidad	Clasificación
VR6	0,89	CR
VR9	2,7	CR
VR23	1,45	CR

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

4.9. Yacimiento de Cerro del Santuario

En este yacimiento se han estudiado 13 muestras. Se trata de fragmentos con dimensiones entre 9 y 31 cm y tonalidades que van de gris a rosáceo, pasando por gris rosáceo, gris claro, marrón claro, amarillo rosáceo, rosa amarronado, blanco rosáceo y blanco (Tabla 4.124).

Tabla 4.124 – Coordenadas cromáticas de Cerro del Santuario

Muestra	Munsell	Colorimetría		
		L	a	b
CST183-1	5YR 7/2 PINKISH GRAY	63,31	4,10	15,23
CST183-2	5YR 6/2 LIGH REDDISH BROWN	55,12	9,13	19,04
CST183-3	10 YR 7/2 LIGHT GRAY	67,18	3,08	14,32
CST183-4	10 YR 7/2 LIGHT GRAY	66,15	3,03	14,80
CST183-5	10 7/3 VERY PALE BROWN	63,85	3,13	15,62
CST183-6	10 YR 7/2 LIGHT GRAY	67,11	2,86	13,44
CST183-7	10 YR 7/2 LIGHT GRAY	64,47	2,55	13,76
CST183-8	7.5YR 7/2 PINKISH GRAY	64,93	3,95	14,25
CST183-9	10UR 8/1 WHITE	73,63	0,38	11,55
CST183-10	10YR 8/2 VERY PALE BROWN	76,82	-0,24	10,54
CST183-11	5YR 7/2 PINKISH GRAY	65,28	1,59	6,94
CST183-12	10YR 8/1 WHITE	69,00	-1,16	11,02
CST183-13	10YR 8/2 VERY PALE BROWN	72,71	0,90	17,97

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

En base a su naturaleza, composición mineralógica y características texturales, se describe un grupo de muestras:

❖ Grupo CST I

Formado por 13 muestras de adobe y una de tierra, este grupo se caracteriza por presentar calcita, cuarzo y moscovita como componentes minerales mayoritarios y textura general porosa y granular.

El grupo está compuesto de fragmentos con morfología irregular, de estructura muy poco compacta y con presencia visible de material orgánico. Poseen pequeñas diferencias de color y textura, aunque sin llegar a constituir tipos diferenciados respecto a las características generales del grupo.

La Figura 4.121 muestra el aspecto que presentan los fragmentos analizados

Figura 4.121 – Fragmentos de adobes (grupo CST-I)



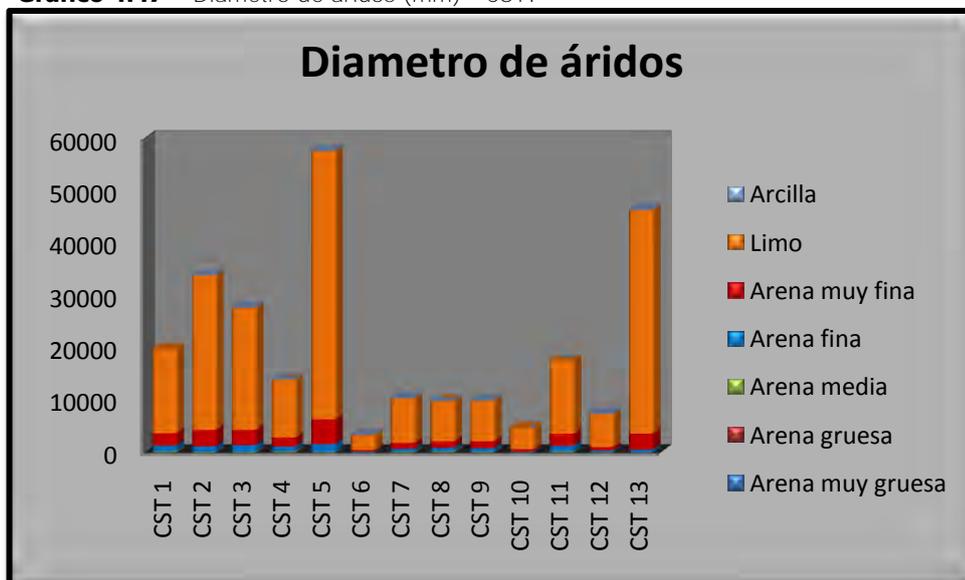
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra



- Análisis textural

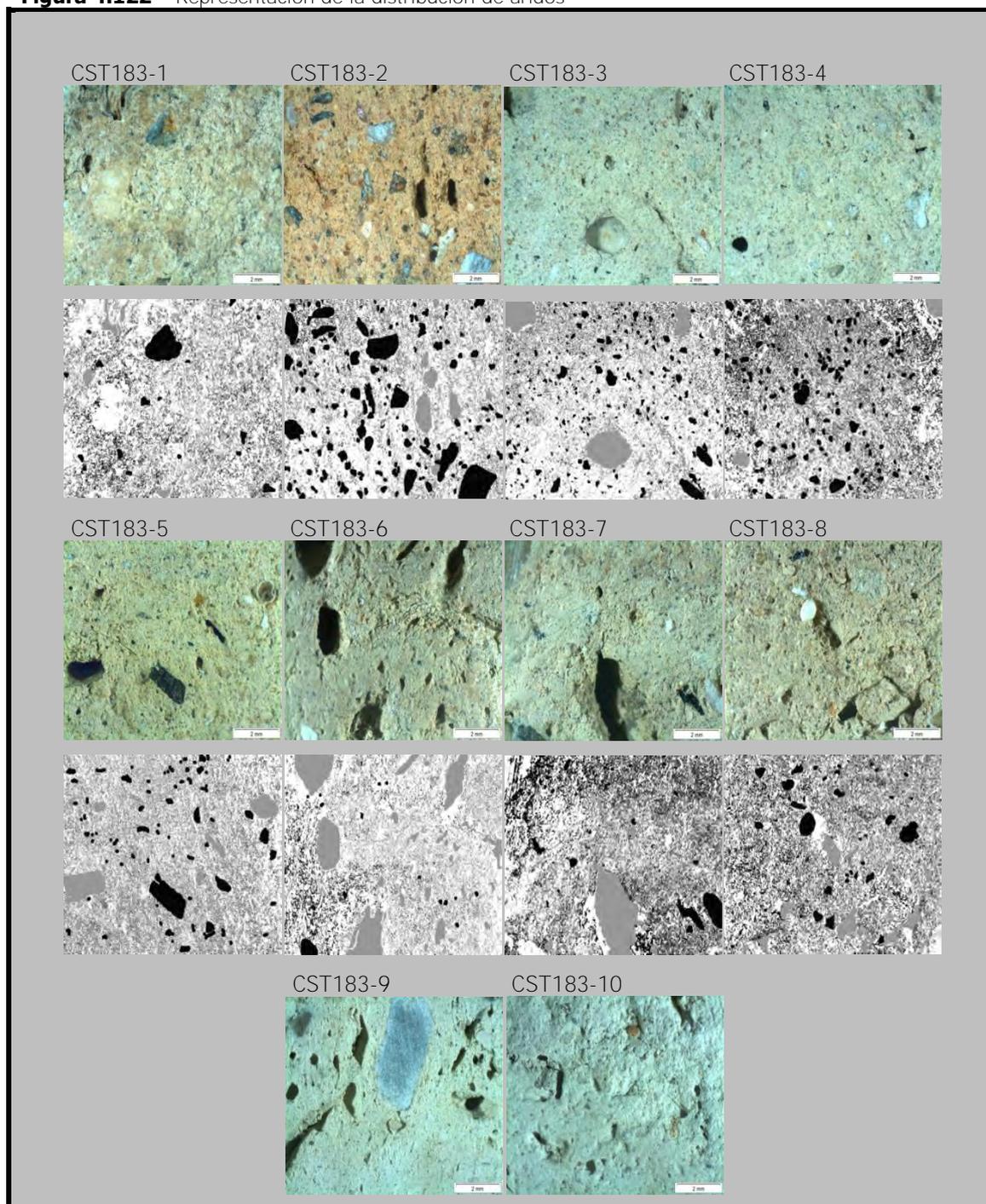
En el grupo se observa la presencia de mayoritaria de limo, seguido de arena de grano muy fino y fino (Gráfico 4.47). Los conglomerados poseen estructura homogénea con características de áridos granulares y arcillosos, de aspecto liso, aristas redondeadas y con pocas impurezas visibles. Los áridos tienen distribución moderada en CST-4, CST-7, CST-8 y CST-13; están muy bien distribuidos en CST-2 y CST-3; están bien distribuidos en CST-1, CST-5 y CST-11; mal distribuidos en CST-6 y muy mal distribuido en CST-9, CST-10 y CST-12 (Figura 4.122).

Gráfico 4.47 – Diámetro de áridos (mm) - CSTI

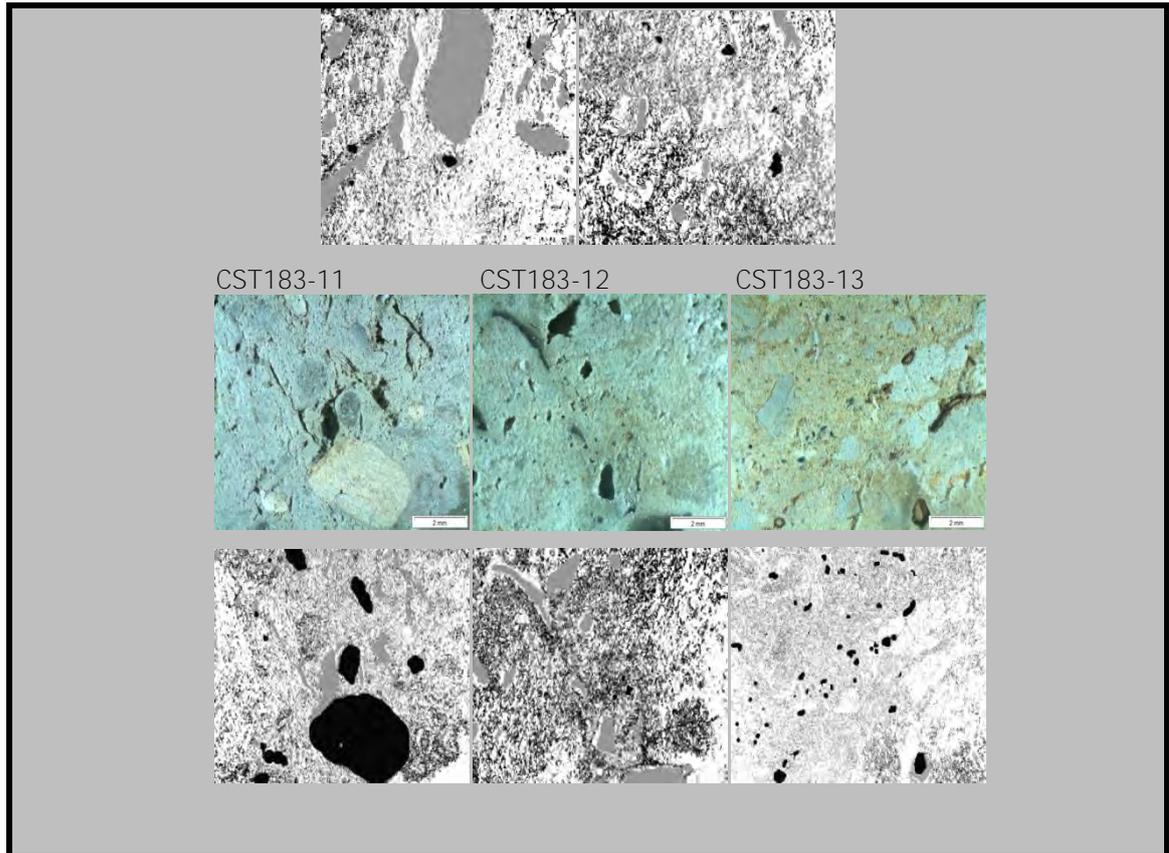


Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.122 – Representación de la distribución de áridos



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra



Existe predominio de poros de tamaño muy fino, seguidos de finos (Gráfico 4.48). En cuanto a la abundancia, los poros son muy pocos en CST-1, CST-4, CST-5 y CST-13; pocos en CST-2, CST-3, CST-7 y CST-12 y común en la muestra CST-6, CST-8, CST-9, CST-10 y CST-11 (Tabla 4.125). En ese grupo se encuentran abundantes perforaciones y moldes de posibles restos vegetales, que están dispuestos de modo aleatorio y tienen tamaños pequeños y medios. Los poros poseen la categoría preponderante de transmisión, seguido de la clase de enraizamiento, de canal y nidos y canales (Gráfico 4.49). Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales, vesiculares, cavidades y canales, reafirmando la probable utilización de elementos vegetales en la mezcla para la fabricación de los adobes (véase Figura 4.122).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Gráfico 4.48 – Tamaños de poros (mm)

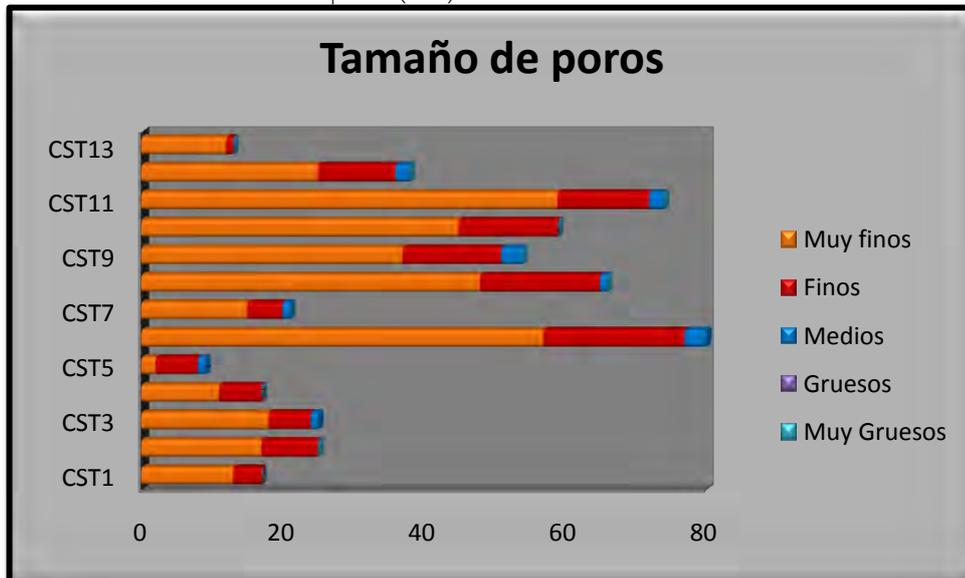
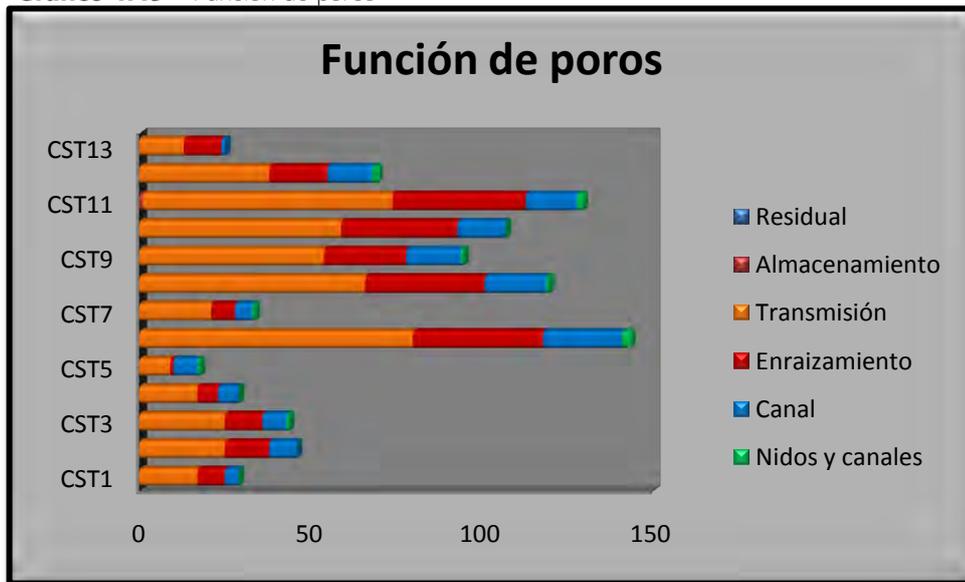


Tabla 4.125 – Número de poros por cm² - CSTI

Abundancia	Muy pocos (1-20)	Pocos (20-50)	Comunes (50-200)
CST1	17	-	-
CST2	-	25	-
CST3	-	25	-
CST4	17	-	-
CST5	9	-	-
CST6	-	-	80
CST7	-	21	-
CST8	-	-	66
CST9	-	-	54
CST10	-	-	59
CST11	-	-	74
CST12	-	38	-
CST13	13	-	-

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

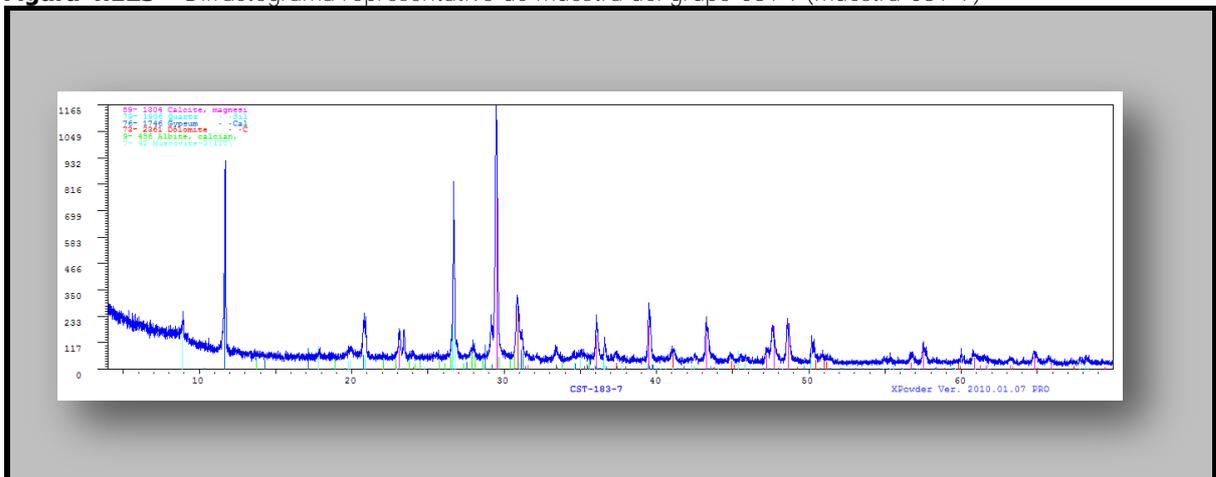
Gráfico 4.49 – Función de poros



- Estudio mineralógico

El difractograma recogido en la Figura 4.123 es representativo de la mineralogía de este grupo.

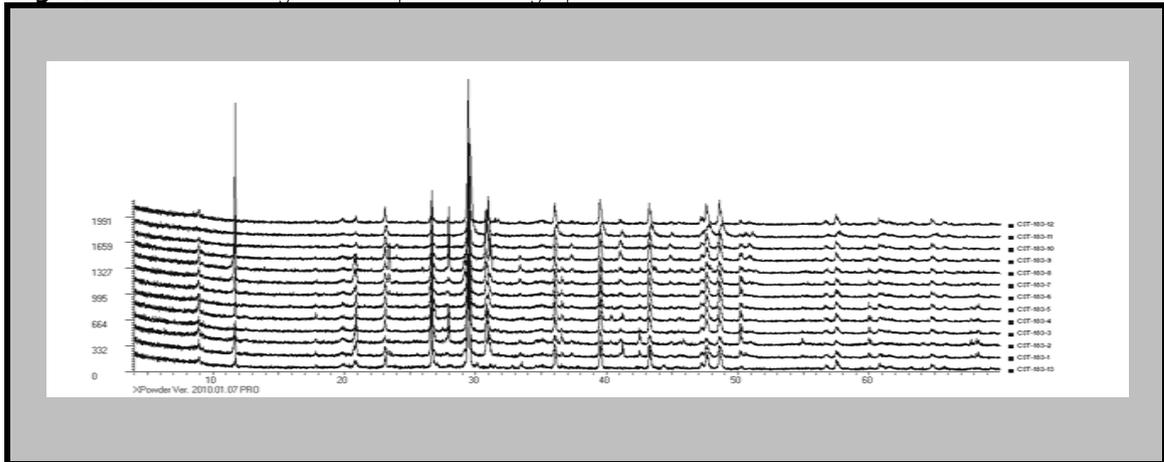
Figura 4.123 – Difractograma representativo de muestra del grupo CST I (muestra CST-7)



La Figura 4.124 recoge los difractogramas comparados de las distintas muestras.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.124 – Difractograma comparativo del grupo CST-I



Las muestras están constituidas por carbonatos (calcita y dolomita), filosilicatos (tipo moscovita / illita y paragonita), tectosilicatos (cuarzo y feldspatos tipo ortoclasa, anortoclasa y albita) y sulfato (yeso). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.126.

Tabla 4.126 – Composición mineralógica de adobes (%)

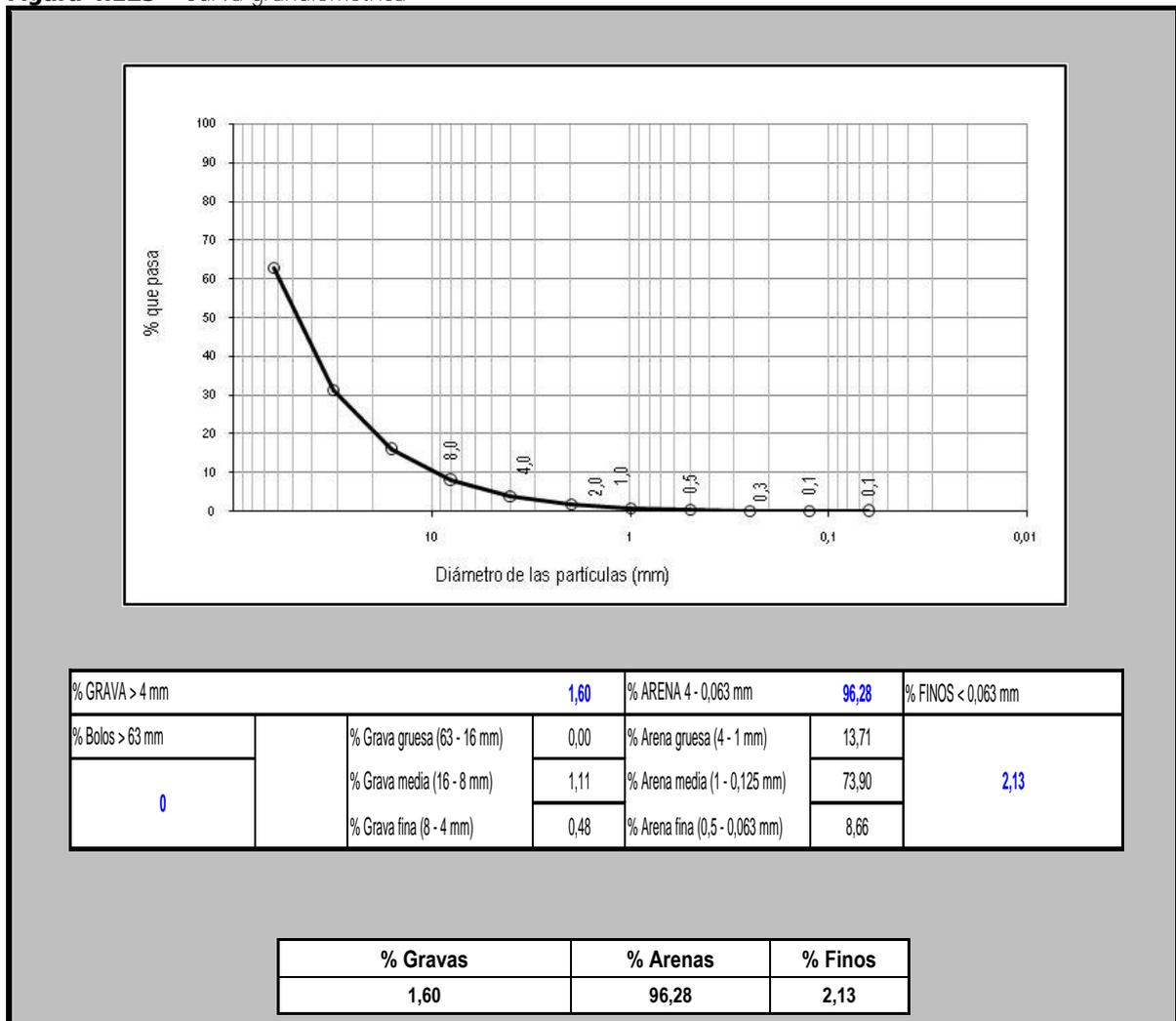
Muestras	CST1	CST2	CST3	CST4	CST5	CST6	CST7	CST8	CST9	CST10	CST11	CST12	CST13
Cuarzo	23	36	25	22	15	10	12	16	15	14	11	16	15
Calcita	24	12	36	28	19	24	30	18	35	47	41	53	41
Moscovita	22	36	15	21	24	16	26	15	19	19	26	19	23
Dolomita	09	12	08	07	05	06	10	07	18	20	22	08	04
Albita	00	00	13	16	08	00	07	27	09	00	00	04	00
Ortoclasa	16	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Anortoclasa	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	10
Yeso	06	04	03	06	00	04	15	17	04	00	00	00	07
Paragonita	00	00	00	00	29	40	00	00	00	00	00	00	00

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

- Ensayo granulométrico

Las muestras están compuestas por mayoritariamente por arena media, seguida por arena gruesa y finos (Figura 4.125).

Figura 4.125 – Curva granulométrica



- Ensayo para determinación de límites de Atterberg

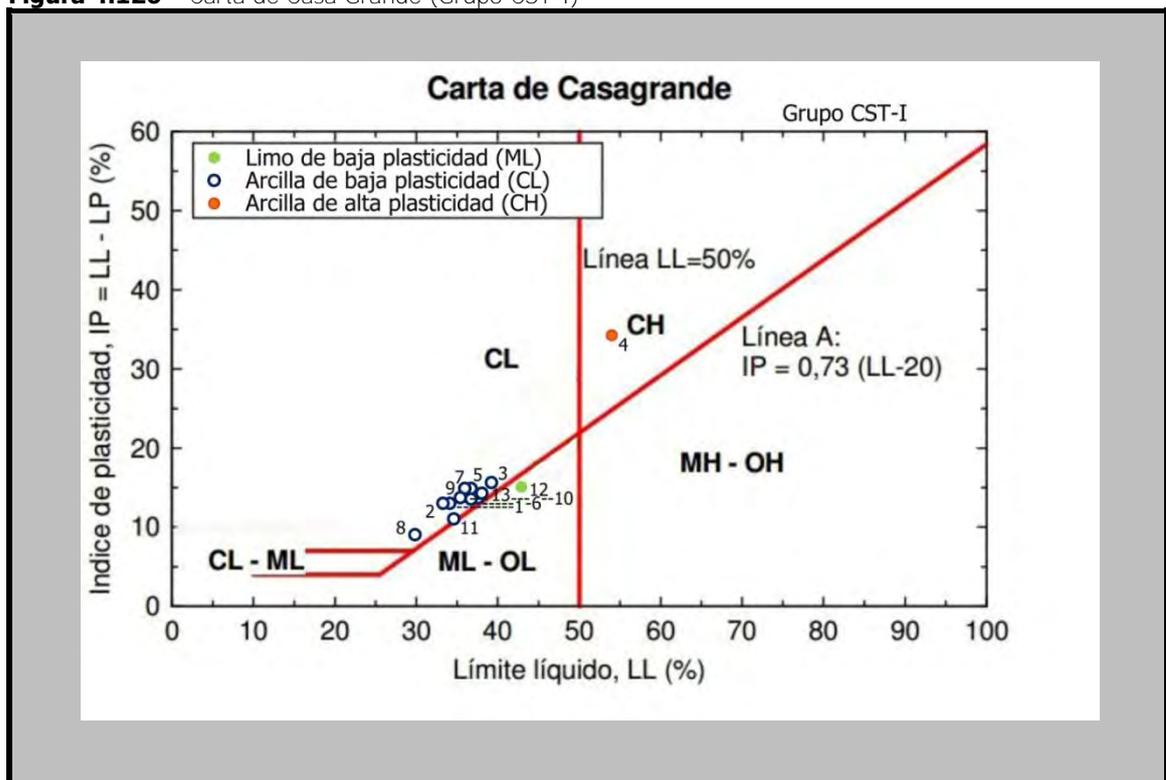
La Tabla 4.127 y la Figura 4.126 recogen los índices de Atterberg de las muestras del grupo. Se puede ver la predominancia de muestras clasificadas en arcilla de baja plasticidad (CL), además de tener la muestra CST4 como arcilladle alta plasticidad y la CST12 como limo de baja plasticidad.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.127 – Límites de Atterberg

Resultado del ensayo				
Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Clasificación
CST1	34.61	22.2	12.41	CL
CST2	33.72	21.1	12.62	CL
CST3	39.47	24.25	15.22	CL
CST4	53.19	18.4	34.79	CH
CST5	36.33	21.2	15.13	CL
CST6	36.99	23.2	13.79	CL
CST7	36.22	21.28	14.94	CL
CST8	29.43	20.37	9.06	CL
CST9	35.53	21.93	13.6	CL
CST10	35.98	22.49	13.49	CL
CST11	34.59	23.44	11.15	CL
CST12	43.18	27.78	15.4	ML
CST13	38.27	24.04	14.23	CL

Figura 4.126 – Carta de Casa Grande (Grupo CST-I)



- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo CSTI comprueba que las muestras tienen como elementos

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

mayoritarios la cal (CaO - 30,1 a 42,1 % en peso), la sílice (SiO₂ - 8,3 a 22,3 % en peso), el aluminio (Al₂O₃ - 2,7 a 7,3 % en peso) y el óxido de magnesio (MgO - 1,79 a 5,61 % en peso); mientras que los componentes minoritarios son compuestos de hierro (Fe₂O₃ - 0,98 a 2,5 % en peso), feldspatos (Na₂O + K₂O), micas (óxidos de silicio y aluminio ligados a potasio, hierro y magnesio), compuestos de dióxido de titanio (TiO₂ - 0,14 a 0,4 % en peso), óxido de fósforo (P₂O₅ - 0,07 a 0,21 % en peso) y óxido de manganeso (MnO). La perdida por calcinación (LOI) es de 26,2 a 38,7 % en peso. Como elementos traza que predominan con concentración superior a 100 PPM se puede ver el cloro (Cl), el estroncio (Sr), el bario (Ba) y el zirconio (Zr). Además de pequeñas cantidades de cromo (Cr), rubidio (Rb), níquel (Ni), bromo (Br), Yodo (I), galio (Ga) plomo (Pb) e itrio (Y).

Las Tablas 4.128 y 4.129 representan la composición química del grupo.

Tabla 4.128 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
Muestras	%											
CST1	22,32	7,34	2,49	0,05	4,04	30,29	0,53	1,74	0,40	0,21	0,84	29,3
CST4	20,44	6,87	2,32	0,04	3,75	30,61	0,66	1,85	0,30	0,19	1,10	31,3
CST5	19,48	6,59	2,30	0,04	3,42	30,17	1,50	1,85	0,30	0,16	0,86	32,2
CST6	20,10	6,81	2,25	0,05	3,53	30,25	1,12	1,80	0,31	0,17	0,87	31,9
CST9	14,39	5,19	1,79	0,03	5,61	33,97	0,58	1,25	0,19	0,11	0,87	35,5
CST11	8,35	2,73	0,98	0,04	3,95	42,10	0,12	0,88	0,14	0,07	1,45	38,7
CST13	18,96	6,95	2,50	0,04	1,79	30,90	0,27	1,67	0,27	0,08	7,39	26,2

Tabla 4.129 - Composición química de los elementos traza

Composición química							
Muestras	CST1	CST4	CST5	CST6	CST9	CST11	CST13
Elementos	PPM						
S	3377	4382	3436	3479	3464	5790	29603
Cl	2622	5161	11770	8464	4063	223	229
Cr	91	57	61	56	49	62	50
Ni	28	32	31	29	25	32	39

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Cu	55	59	49	50	50	33	68
Zn	87	74	87	60	89	61	70
Ga	6	8	9	5	5	10	26
Br	12	14	25	21	11	13	27
Rb	40	41	41	41	31	3	0
Sr	1194	1129	1073	1099	1110	3328	22787
Y	0	0	0	0	0	1	0
Zr	248	125	128	161	91	159	881
I	0	67	48	0	0	62	35
Ba	293	192	189	223	235	177	531
Pb	0	0	0	0	0	0	62

Los índices de hidraulicidad del grupo están representados en la Tabla 4.130 que indican que las muestras del grupo tienen características predominantes de cemento rápido (CR). Pero se puede ver que la muestra CST9 es un cemento lento (CL) y la CST11 es medianamente hidráulica (MH).

Tabla 4.130 - Índice de hidraulicidad

Muestras	Índice de hidraulicidad	Clasificación
CST1	0,88	CR
CST4	0,80	CR
CST5	0,77	CR
CST6	0,79	CR
CST9	0,52	CL
CST11	0,26	MH
CST13	0,82	CR

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

4.10. Yacimiento de Cerro Cepero

En este yacimiento se han estudiado 3 muestras. Se trata de fragmentos con dimensiones entre 2 y 14 cm y tonalidades que van de gris claro a blanco (Tabla 4.131).

Tabla 4.131 – Coordenadas cromáticas de Cerro Cepero

Muestras	Munsell	Colorimetría		
		L	a	b
BAZ001-1	10YR 8/1 WHITE	82,16	0,47	10,16
BAZ001-2	7.5YR 8/1 WHITE	72,23	2,53	10,55
BAZ001-3	2.5Y 7/2 LIGHT GRAY	71,41	1,38	15,72

En base a su naturaleza, composición mineralógica y características texturales, se describe un grupo de muestras:

❖ Grupo BAZ I

Formado por 3 muestras (2 de adobe y 1 de tierra), este grupo se caracteriza por presentar moscovita, calcita y cuarzo como componentes minerales mayoritarios y textura general porosa y granular.

El grupo está compuesto de fragmentos con morfología irregular, de estructura muy poco compacta y sin presencia visible de material orgánico. Poseen pequeñas diferencias de color y textura, aunque sin llegar a constituir tipos diferenciados respecto a las características generales del grupo.

La Figura 4.127 muestra el aspecto que presentan los fragmentos analizados

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.127 – Fragmentos de adobe (grupo BAZ-I)



- Análisis textural

En el grupo se observa la presencia de mayoritaria de limo, seguido de arena de grano muy fino y fino (Gráfico 4.50). Los conglomerados poseen estructura homogénea con características de áridos granulares y arcillosos, de aspecto liso, aristas redondeadas y con pocas impurezas visibles. Los áridos están bien distribuidos (Figura 4.128).

Gráfico 4.50 – Diámetro de áridos (mm) - BAZI

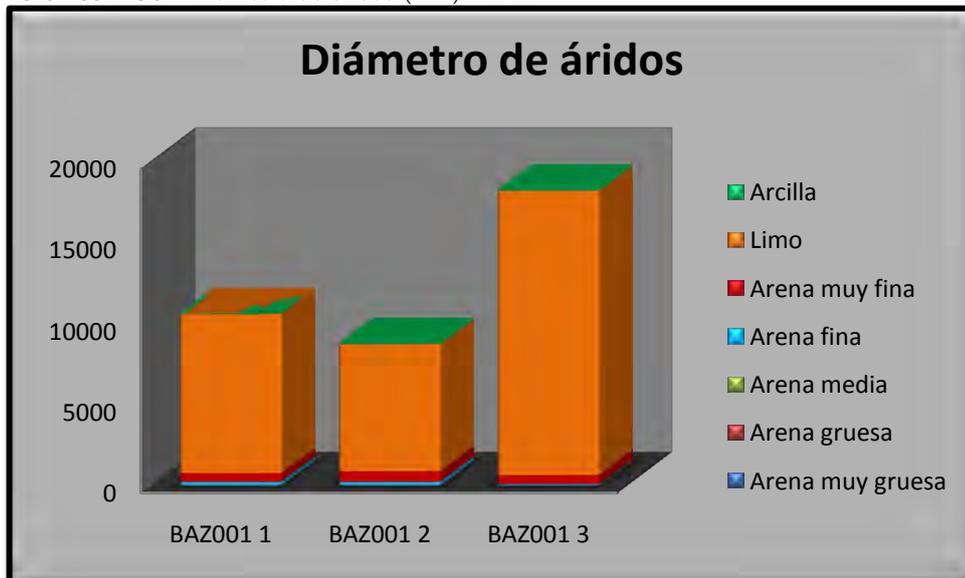
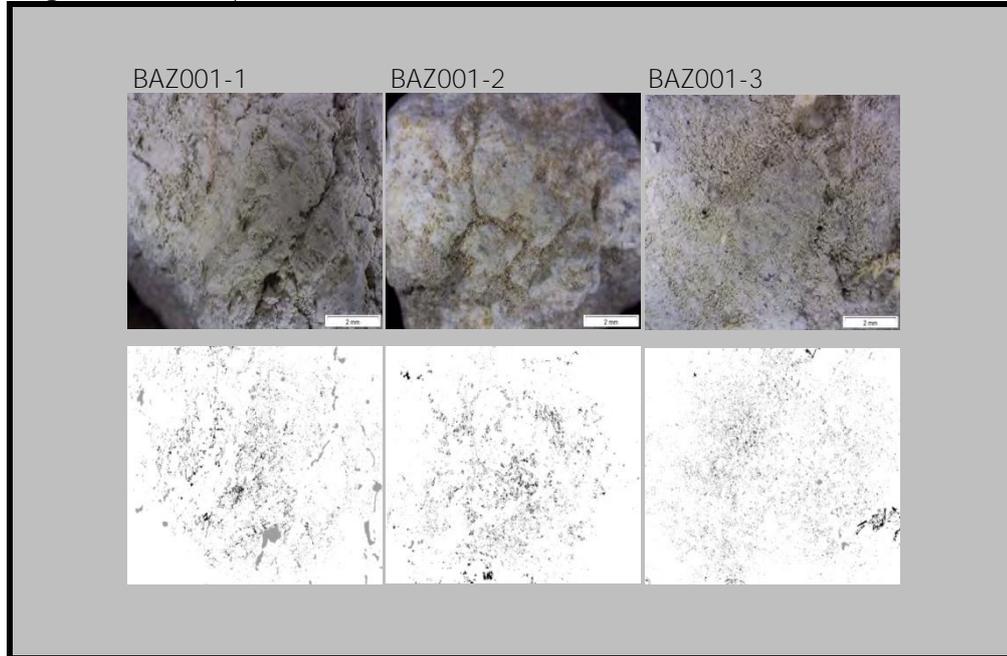


Figura 4.128 – Representación de la distribución de áridos



Existe predominio de poros de tamaño muy fino, seguidos de finos (Gráfico 4.51). En cuanto a la abundancia, los poros son muy poco en la muestra BAZ001-2; poco en las muestras BAZ001-3 y comunes en BAZ001-1 (Tabla 4.132). En ese grupo se encuentran abundantes perforaciones y moldes de posibles restos vegetales, que están dispuestos de modo aleatorio y tienen tamaños pequeños y medios. Los poros poseen la categoría preponderante de transmisión, seguido de la clase de enraizamiento, de canal y almacenamiento (Gráfico 4.52). Atendiendo a la clasificación se observan poros intersticiales, vesiculares, cavidades y canales, reafirmando la probable utilización de elementos vegetales en la mezcla para la fabricación de los adobes (Figura 4.127).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

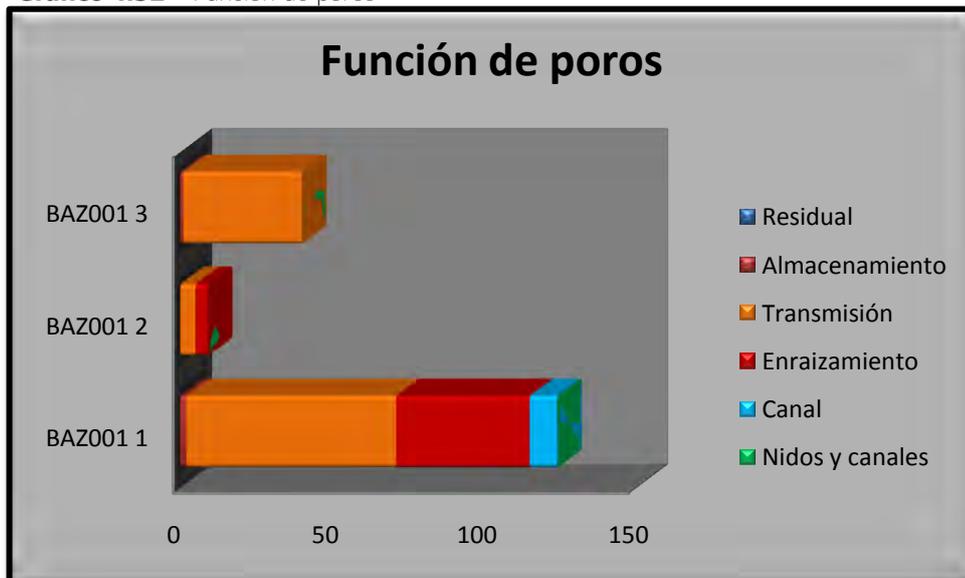
Gráfico 4.51 – Tamaños de poros (mm)



Tabla 4.132 – Número de poros por cm² - BAZI

Abundancia	Muy pocos (1-20)	Pocos (20-50)	Comunes (50-200)
BAZ001 1	-	-	71
BAZ001 2	5	-	-
BAZ001 3	-	40	-

Gráfico 4.52 – Función de poros

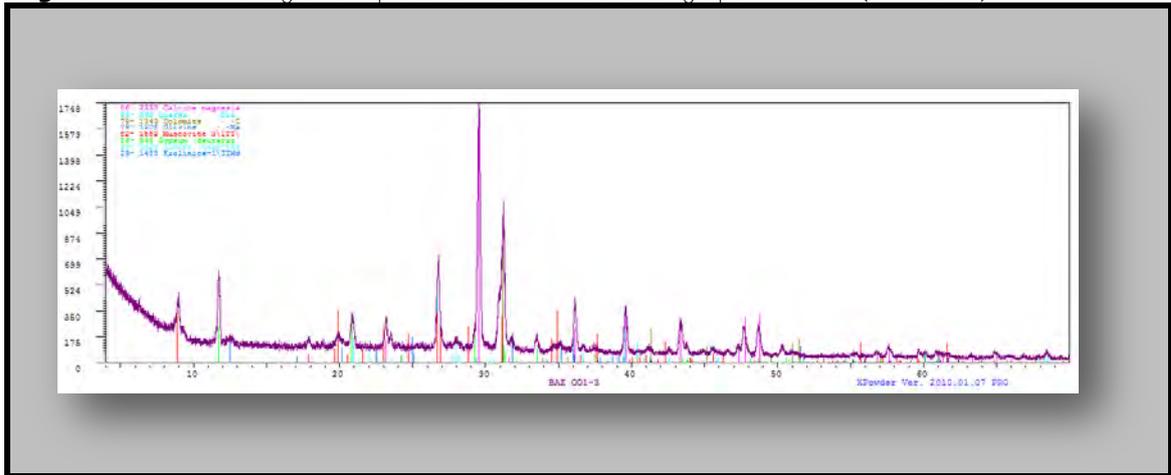


Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

- Estudio mineralógico

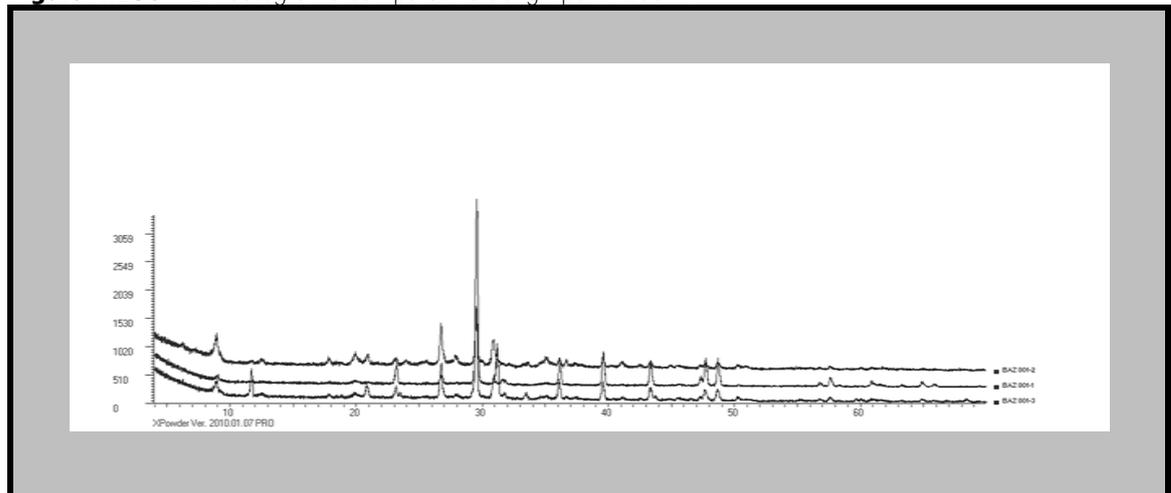
El difractograma recogido en la Figura 4.129 es representativo de la mineralogía de este grupo.

Figura 4.129 – Difractograma representativo de muestra del grupo BAZ001-I (BAZ001-3)



La Figura 4.130 recoge los difractogramas comparados de las distintas muestras.

Figura 4.130 – Difractograma comparativo del grupo BAZ001-I



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Las muestras están constituidas por carbonatos (calcita y dolomita), filosilicatos (tipo moscovita / illita y caolinita), tectosilicatos (cuarzo y feldespatos tipo albita), nesosilicato (olivino) y sulfato (yeso). Los porcentajes calculados para cada fase, se recogen en la Tabla 4.133.

Tabla 4.133 – Composición mineralógica de adobes (%)

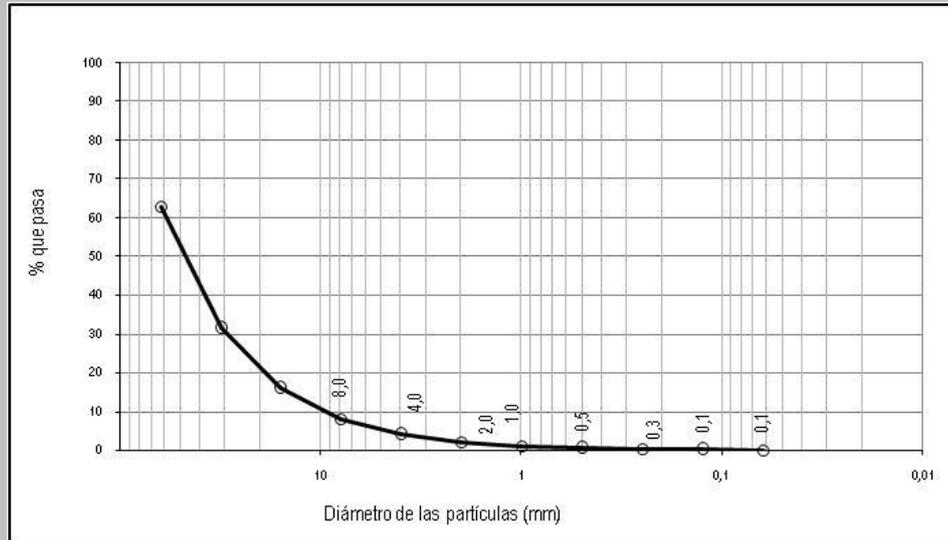
Muestras	BAZ001 1	BAZ001 2	BAZ001 3
Cuarzo	05	15	11
Calcita	61	12	20
Moscovita	31	43	18
Dolomita	03	08	15
Albita	00	11	10
Caolinita	00	11	05
Olivino	00	00	14
Yeso	00	00	07

- Ensayo granulométrico

Las muestras están compuestas por mayoría de arena media, seguida por arena fina (Figura 4.131).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 4.131 – Curva granulométrica



% GRAVA > 4 mm		3,84	% ARENA 4 - 0,063 mm		94,03	% FINOS < 0,063 mm	
% Bolos > 63 mm			% Grava gruesa (63 - 16 mm)	0,00	% Arena gruesa (4 - 1 mm)	4,69	2,13
0		% Grava media (16 - 8 mm)	3,27	% Arena media (1 - 0,125 mm)	80,38		
		% Grava fina (8 - 4 mm)	0,57	% Arena fina (0,5 - 0,063 mm)	8,96		

% Gravas	% Arenas	% Finos
3,84	94,03	2,13

- Ensayo para determinación de límites de Atterberg

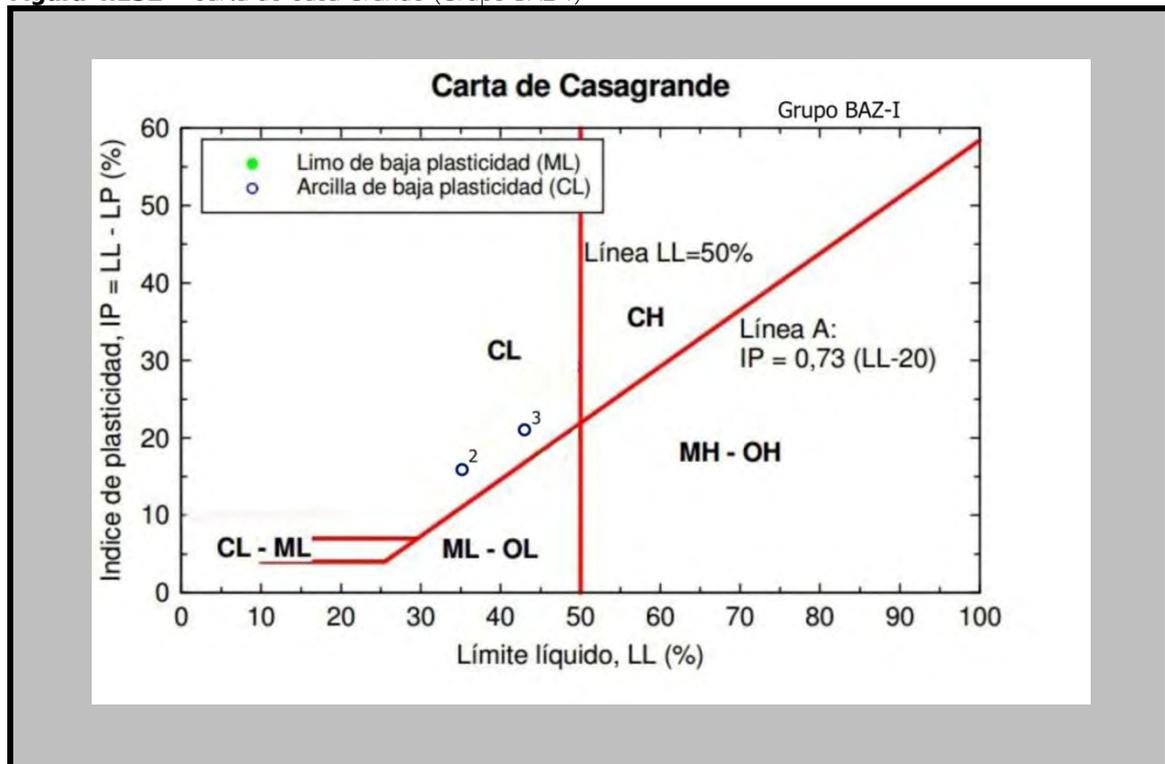
La Tabla 4.134 y la Figura 4.132 recogen los índices de Atterberg de las muestras del grupo. Se puede ver que la arcilla de baja plasticidad (CL) es predominante.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.134 – Límites de Atterberg

Resultado del ensayo				
Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Clasificación
BAZ001 -1	0	0	0	Nula
BAZ001 -2	35.11	19.37	15.74	CL
BAZ001 -3	43.34	21.56	21.78	CL

Figura 4.132 – Carta de Casa Grande (Grupo BAZ-I)



- Estudio químico

El estudio de la composición química a través de la fluorescencia de rayos X realizado sobre muestras del grupo BAZ-I comprueba que las muestras tienen como elementos mayoritarios la cal (CaO – 17,7 a 43,55 % en peso), la sílice (SiO_2 – 9,18 a 29,2 % en peso), el aluminio (Al_2O_3 – 3,13 a 13,86 % en peso), los compuestos de hierro (Fe_2O_3 – 1,12 a 4,29 % en peso) y el óxido de magnesio (MgO – 2,2 a 4,21 % en peso); mientras que los componentes minoritarios son los feldespatos ($Na_2O + K_2O$), micas, compuestos de dióxido de titanio (TiO_2), óxido de fósforo (P_2O_5) y óxido de manganeso (MnO). La pérdida por calcinación (LOI) es de 25,1 a 37,3 % en peso. Como elementos traza de concentración superior a 100 PPM se puede ver el cloro (Cl), el estroncio (Sr), el bario (Ba), el zirconio (Zr),

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

cromo (Cr), zinc (Zn) y rubidio (Rb). Además de pequeñas cantidades de cobre (Cu), níquel (Ni), bromo (Br), itrio (Y), galio (Ga), yodo (I), el plomo (Pb) y niobio (Nb).

Las Tablas 4.135 y 4.136 representan la composición química del grupo.

Tabla 4.135 - Composición química de los óxidos

Composición química												
Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
Muestras	%											
BAZ001-1	9,18	3,13	1,12	0,02	2,20	43,55	0,31	1,26	0,13	0,07	0,95	37,3
BAZ001-2	29,20	13,86	4,29	0,04	4,21	17,70	0,73	3,00	0,57	0,11	0,90	25,1
BAZ001-3	17,58	6,30	2,41	0,04	3,10	30,77	0,97	2,55	0,31	0,07	7,41	27,5

Tabla 4.136 - Composición química de los elementos traza

Composición química			
Muestras	BAZ001-1	BAZ001-2	BAZ001-3
Elementos	PPM		
S	3793	3619	29693
Cl	8382	69	9329
Cr	34	146	70
Ni	22	46	27
Cu	52	95	81
Zn	0	154	60
Ga	0	19	10
Br	26	7	17
Rb	0	121	40
Sr	969	620	1839
Y	5	7	0
Zr	55	112	125
Nb	0	11	0
I	0	0	48
Ba	150	398	234
Pb	0	53	0

Los índices de hidráulicidad del grupo están representados en la Tabla 4.137 que indican que las muestras del grupo tienen características de cemento rápido (CR) y medianamente hidráulico (MH).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 4.137 - Índice de hidráulidad

Muestras	Índice de hidráulidad	Clasificación
BAZ001-1	0,28	MH
BAZ001-2	1,85	CR
BAZ001-3	0,7	CR

Discusión



5. DISCUSIÓN

5.1 Estudio comparativo entre yacimientos

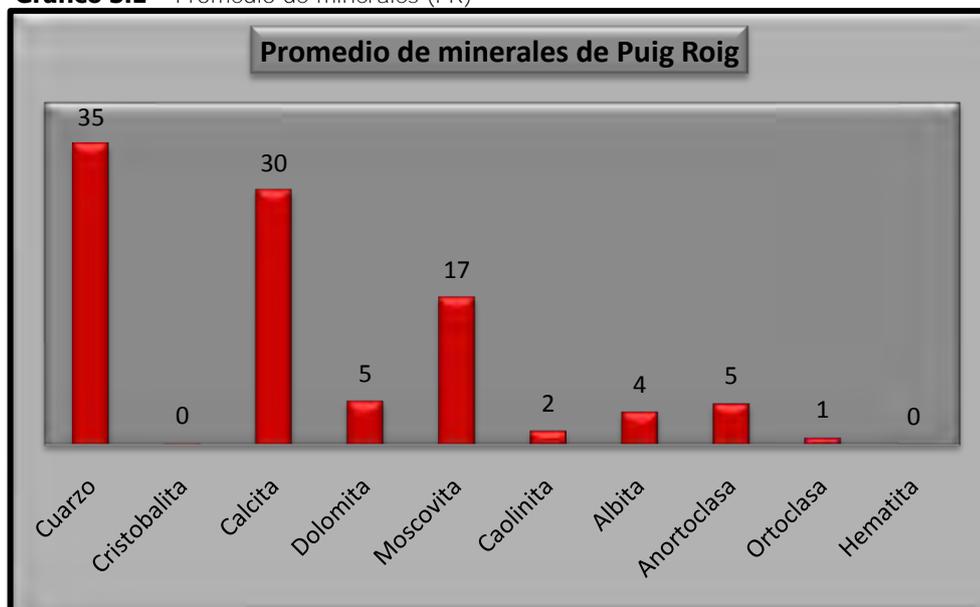
Estudio mineralógico

Los resultados obtenidos con los análisis mineralógicos de difracción de rayos X en las muestras generaron gráficos promedios de cada yacimiento, siempre recogiendo informaciones de las principales fases minerales. Estos gráficos promedio se clasifican según los siguientes criterios:

- Promedios por yacimiento;
 - Promedios por región;
 - Promedio comparativo entre las regiones.
-
- Promedios por yacimiento

1. El Puig Roig del Roget

Gráfico 5.1 – Promedio de minerales (PR)

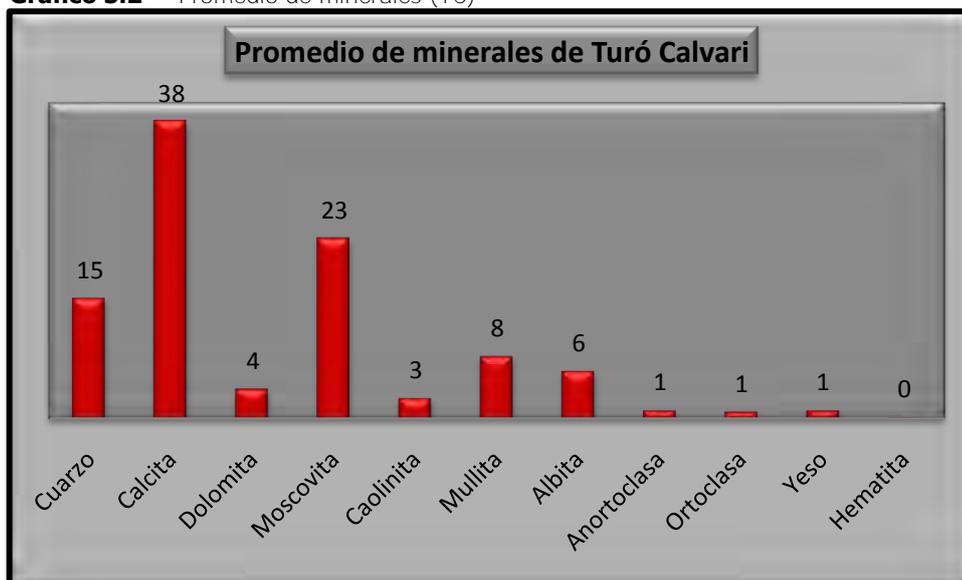


El promedio de minerales de Puig Roig (Gráfico 5.1) indica la predominancia del cuarzo y de la calcita con promedio entre 36% y 29% respectivamente, seguidos por la

moscovita (17%), dolomita y anortoclasa (5%) y albita (4%). Los minerales minoritarios (caolinita, ortoclasa, cristobalita y hematita) tienen promedios inferiores a 3%. La presencia de ortoclasa y anortoclasa como fases minerales en los grupos puede ser resultado de la utilización de adiciones de materiales cerámicos en la pasta para la fabricación de los elementos.

2. El Turó del Calvari

Gráfico 5.2 – Promedio de minerales (TC)



La proporción promedio de minerales de Turó del Calvari (Gráfico 5.2) indica el predominio de la calcita y de la moscovita con promedio entre 38% y 22% respectivamente, seguidos por cuarzo (15%), mullita (8%), albita (6%), dolomita (4%) y caolinita (3%). Los minerales minoritarios (anortoclasa, yeso, ortoclasa y hematita) tienen promedios inferiores a 2%. La presencia de ortoclasa y anortoclasa como fases minerales de los grupos puede ser resultado de la utilización de adiciones de materiales cerámicos en la pasta para la fabricación de los elementos. Eso puede ser corroborado por la presencia de mullita, que aparece debido a la refundición de arcillas a temperaturas superiores a 1000°C (CULTRONE, 2001), lo que sugiere la utilización de chamota en las pastas.

3. El Tossal del Moro de Pinyeres

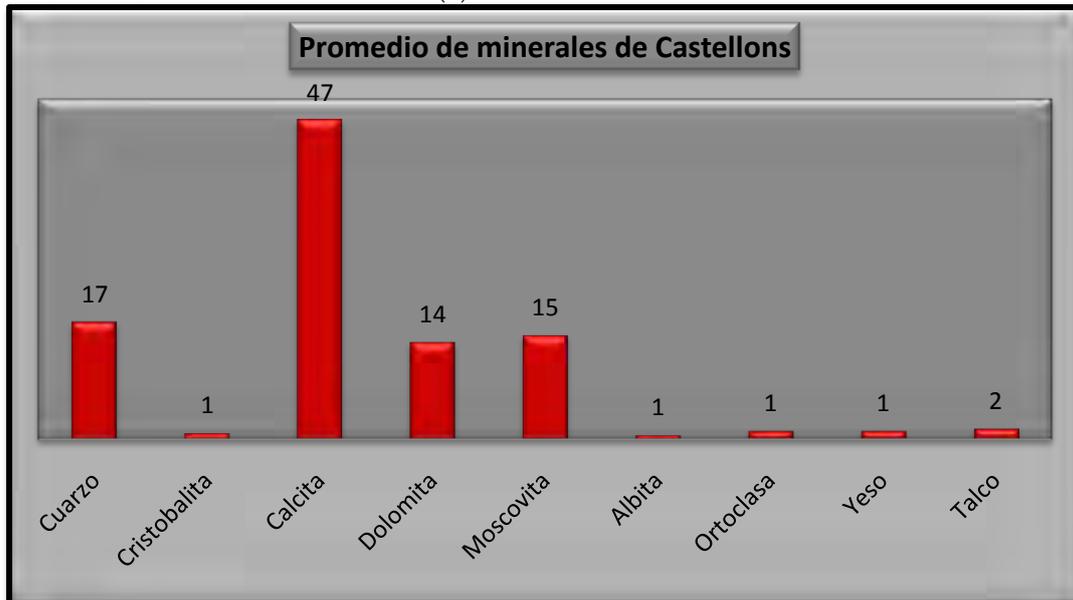
Gráfico 5.3 – promedio de minerales (TM)



La proporción promedio de minerales de Tossal del Moro (Gráfico 5.3) indica la predominancia de la calcita y del cuarzo con promedio entre 35% y 24% respectivamente, seguidos pela moscovita (23%), anortoclasa (11%) y dolomita (7%). La presencia de anortoclasa como fase mineral en los grupos puede ser resultado de la utilización de adiciones de materiales cerámicos en la pasta para la fabricación de los elementos.

4. Els Castellons de Flix

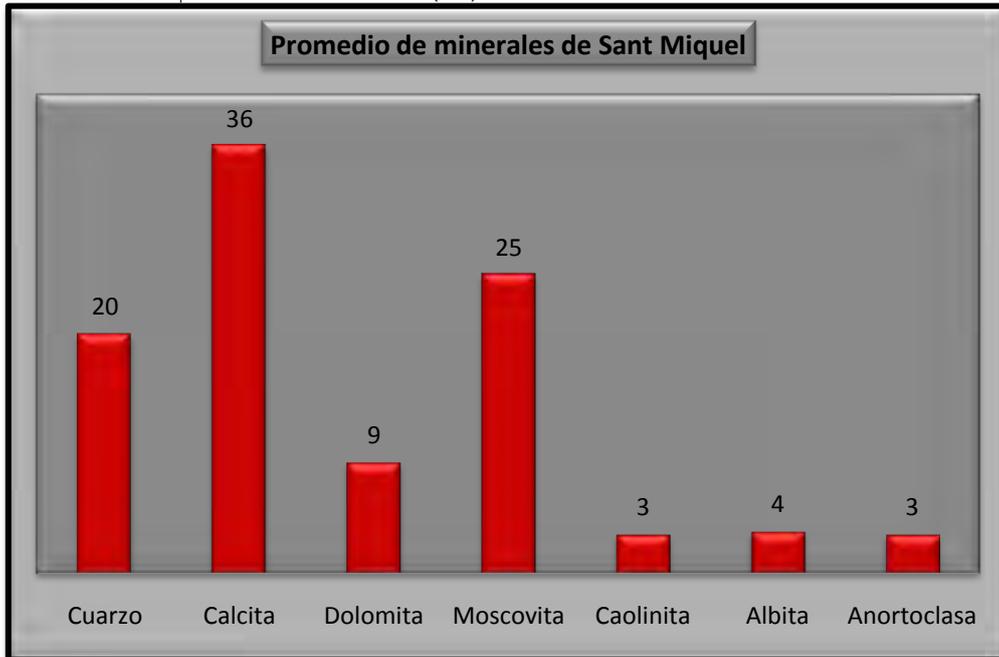
Gráfico 5.4 – Promedios de minerales (C)



La proporción promedio de minerales Castellons (Gráfico 5.4) indica la predominancia de la calcita con promedio de 47%, seguida por el cuarzo (17%), moscovita (15%), dolomita (14%). Los minerales minoritarios (talco, ortoclasa, yeso, cristobalita, y albita) tienen promedios inferiores a 2%. La presencia de ortoclasa como fase mineral del grupo puede ser resultado de la utilización de adiciones de materiales cerámicos en la pasta para la fabricación de los elementos.

5. Sant Miquel de Vinebre

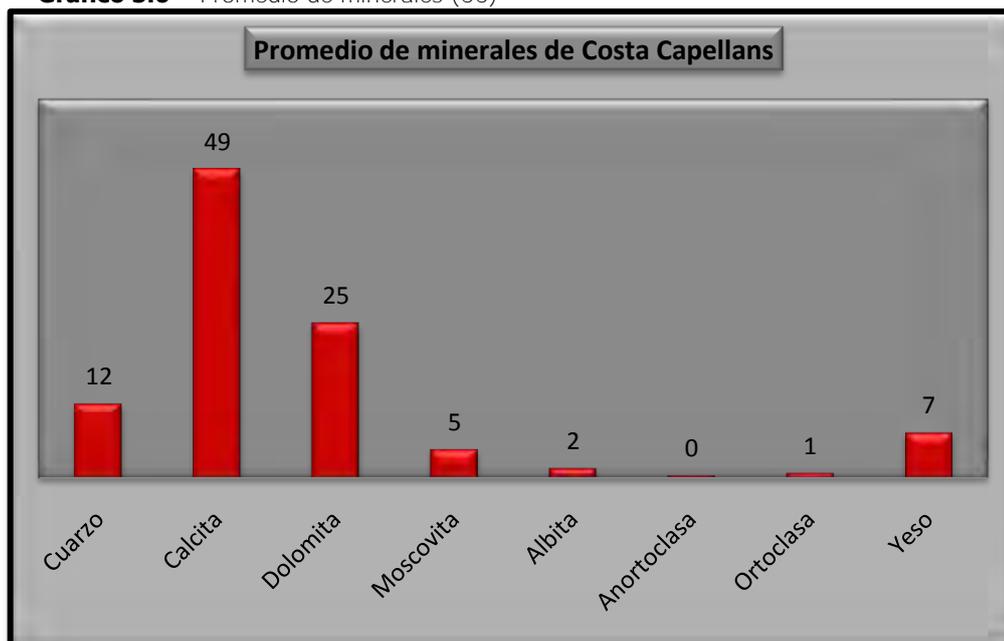
Gráfico 5.5 – promedio de minerales (SM)



La proporción promedio de minerales de Sant Miquel (Gráfico 5.5) indica la predominancia de la calcita y de la moscovita con promedio entre 36% y 25% respectivamente, seguidos por cuarzo (20%) y dolomita (9%). Los minerales minoritarios (albita, caolinita y anortoclasa) tienen promedios inferiores a 4%. La presencia de anortoclasa como fase mineral del grupo puede ser resultado de la utilización de adiciones de materiales cerámicos en la pasta para la fabricación de los elementos.

6. Costa dels Capellans

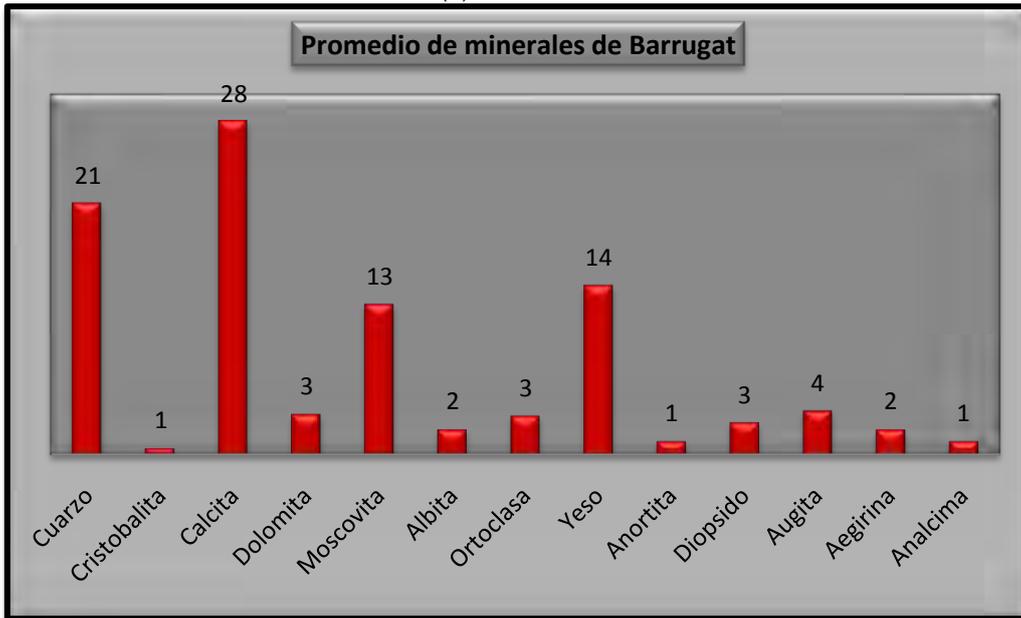
Gráfico 5.6 – Promedio de minerales (CC)



La proporción promedio de minerales de Costa dels Capellans (Gráfico 5.6) indica la predominancia de la calcita y dolomita con promedio entre 49% y 25% respectivamente, seguidos por cuarzo (12%), yeso (7%) y moscovita (5%). Los minerales minoritarios (albita, ortoclasa y anortoclasa) tienen promedios inferiores a 2%. La presencia de ortoclasa y anortoclasa como fases minerales de los grupos puede ser resultado de la utilización de adiciones de materiales cerámicos en la pasta para la fabricación de los elementos.

7. La Villa de Barrugat

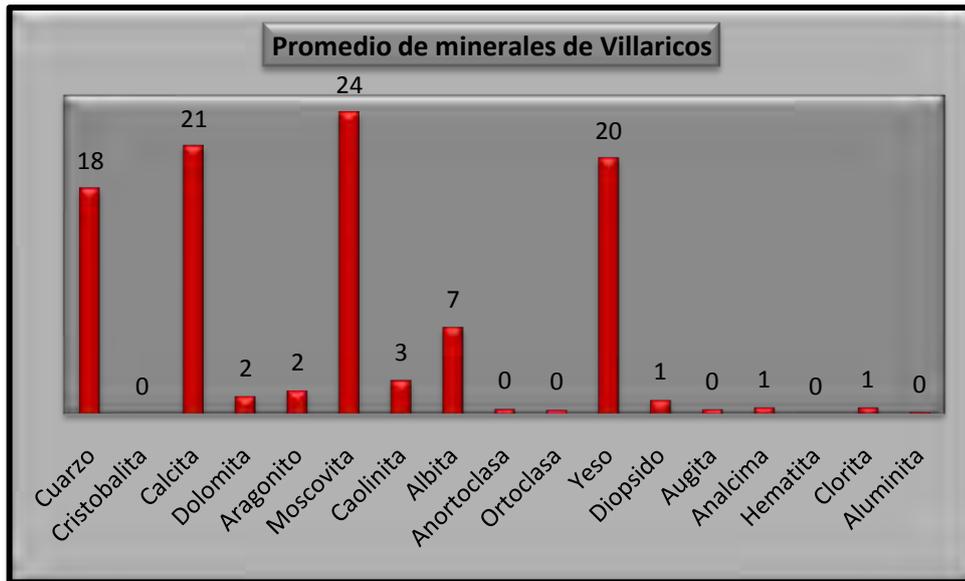
Gráfico 5.7 – Promedio de minerales (B)



La proporción promedio de minerales de Barrugat (Gráfico 5.7) indica la predominancia de la calcita y del cuarzo con promedio entre 28% y 22% respectivamente, seguidos por yeso (14%), moscovita (13%), augita (4%), dolomita, diópsido y ortoclasa (3%) y albita y aegirina (2%). Los minerales minoritarios (cristobalita, anortita y analcima) tienen promedios inferiores a 2%. La presencia de ortoclasa, anortita, diópsido, augita, aegirina y analcima como fases minerales de los grupos puede ser resultado de la utilización de adiciones de materiales cerámicos en la pasta para la fabricación de los elementos.

8. Villaricos

Gráfico 5.8 – Promedio de minerales (VR)



La proporción promedio de minerales de Villaricos (Gráfico 5.8) indica el predominio de la moscovita y de la calcita con promedio entre 24% y 21% respectivamente, seguidos por cuarzo (18%), yeso (20%), albita (7%), caolinita (3%), dolomita, aragonito (2%). Los minerales minoritarios (diópsido, analcima, clorita, augita, anortoclasa, ortoclasa, aluminita, hematita y cristobalita) tienen promedios inferiores a 2%. La presencia de ortoclasa, anortoclasa, diópsido, augita y analcima como fases minerales de los grupos puede ser resultado de la utilización de adiciones de materiales cerámicos en la pasta para la fabricación de los elementos. El yacimiento de Villaricos se sitúa en la costa y se observa aragonito en algunos grupos. Ese mineral está presente en conchas marinas, moluscos y perlas (KLEIN, 2006), que puede tener su uso para producir la cal a través de la quema de conchas marinas (TRISTÃO, 2009; MOTTA, 2004).

9. Cerro del Santuario

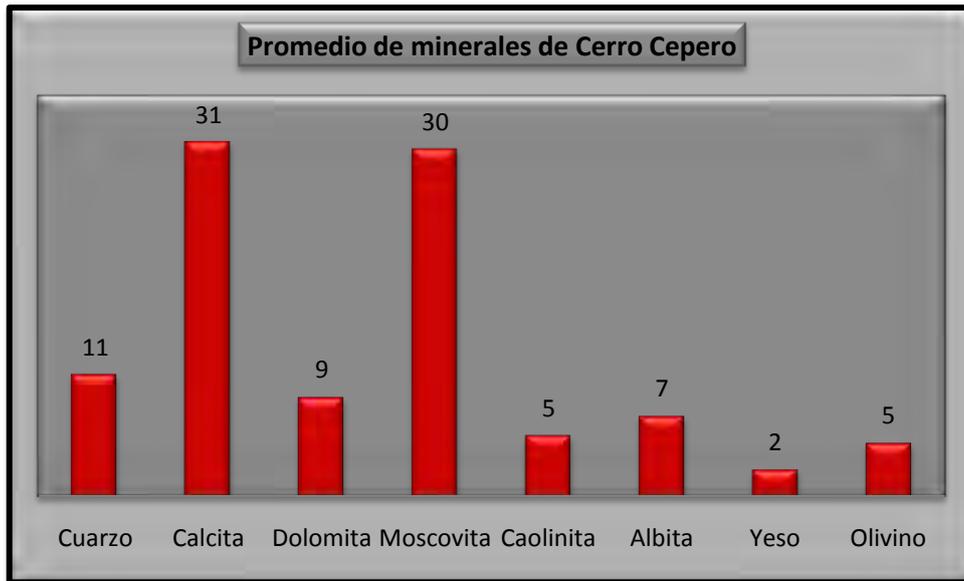
Gráfico 5.9 – Promedio de minerales (CST)



La proporción promedio de minerales de Cerro del Santuario (Gráfico 5.9) indica la predominancia de la calcita y de la moscovita con promedio entre 31% y 22% respectivamente, seguidos por el cuarzo (18%), dolomita (10%), albita (6%) y yeso y paragonita (5%). Los minerales minoritarios (ortoclasa y anortoclasa) tienen promedios inferiores a 1%. La presencia de ortoclasa y anortoclasa como fases minerales de los grupos puede ser resultado de la utilización de adiciones de materiales cerámicos en la pasta para la fabricación de los elementos.

10. Cerro Cepero

Gráfico 5.10– Promedio de minerales (BAZ)

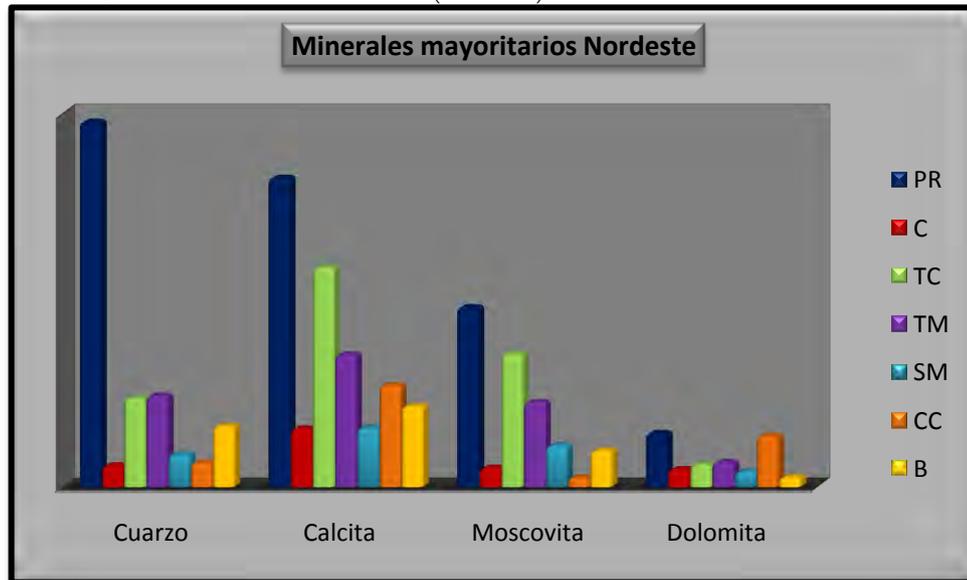


La proporción promedio de minerales de Cerro Cepero (Gráfico 5.10) indica la predominancia de la calcita y de la moscovita con promedio entre 31% y 30% respectivamente, seguidos por cuarzo (11%), dolomita (9%), albita (7%), caolinita y olivino (5%) y yeso (2%). Los porcentajes calculados de los promedios se recogen en el Gráfico 61. La presencia de olivino como fase mineral del los grupo puede ser resultado de la utilización de adiciones de materiales cerámicos en la pasta para la fabricación de los elementos.

- Promedio por región

1. Nordeste de la Península Ibérica

Gráfico 5.11 – Promedio de minerales (Nordeste)

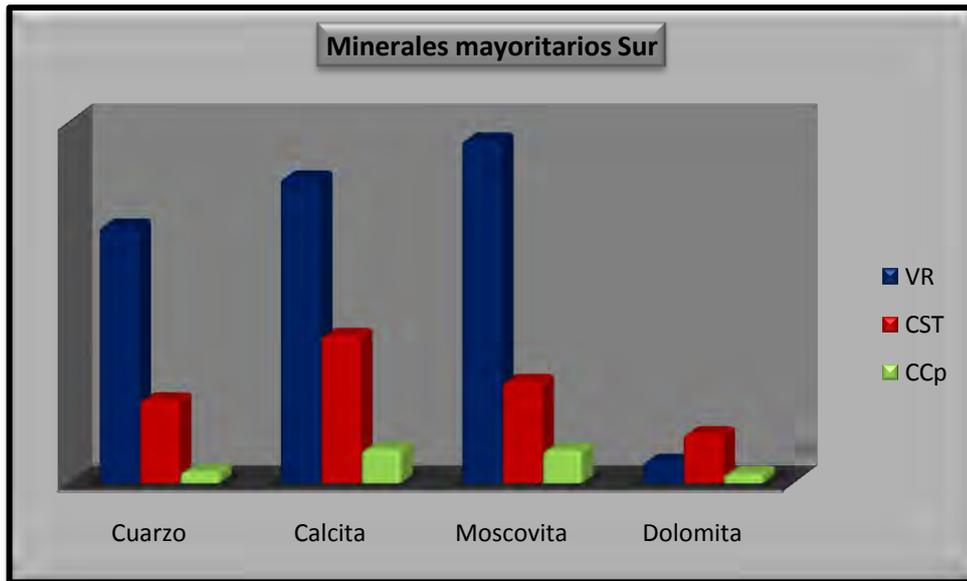


PR-Puig Roig, C-Castellons, TC-Turo Calvari, TM-Tossal Del Moro, SM-Sant Miquel, CC- Costa Capellans, B-Barrugat

El promedio de minerales de nordeste de la Península Ibérica (Gráfico 5.11) indica que el cuarzo solamente predomina en Puig Roig. En los demás yacimientos la calcita despunta, seguida por moscovita en la mayoría de las veces.

2. Sur de la Península Ibérica

Gráfico 5.12 – Promedio de minerales (Sur)

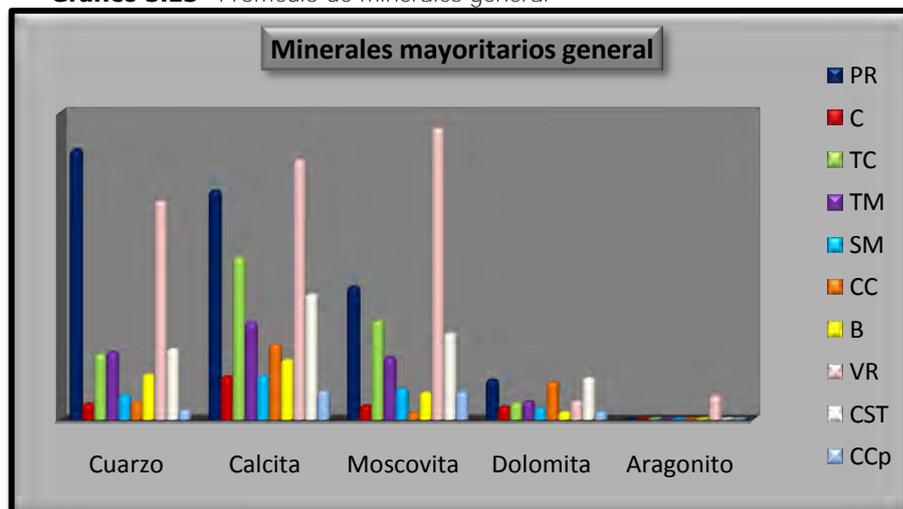


VR- Villaricos, CST- Cerro del Santuario, CCp- Cerro Cepero

El promedio de minerales de Sur de la Península Ibérica (Gráfico 5.12) indica que el cuarzo no tiene predominio en ningún de los yacimientos de la región. La moscovita es mayoría en Villaricos, seguida por calcita. Situación que se invierte en Cerro del Santuario y se equilibra en Cerro Cepero.

- Promedio comparativo entre las regiones

Gráfico 5.13– Promedio de minerales general

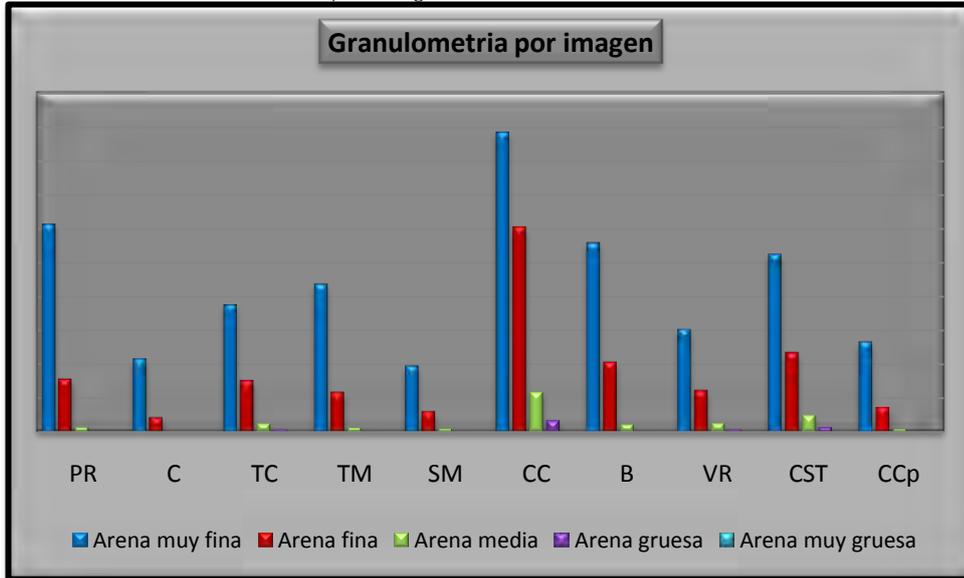


PR-Puig Roig, C-Castellons, TC-Turo Calvari, TM-Tossal Del Moro, SM-Sant Miquel, CC- Costa Capellans, B-Barrugat, VR- Villaricos, CST- Cerro del Santuario, CCp- Cerro Cepero

El promedio general de minerales (Gráfico 5.13) indica que la calcita tiene una superioridad real en la mayoría de los yacimientos. Sin embargo, el cuarzo predomina en Puig Roig y en Villaricos la moscovita es preponderante, además de la presencia particular de aragonito.

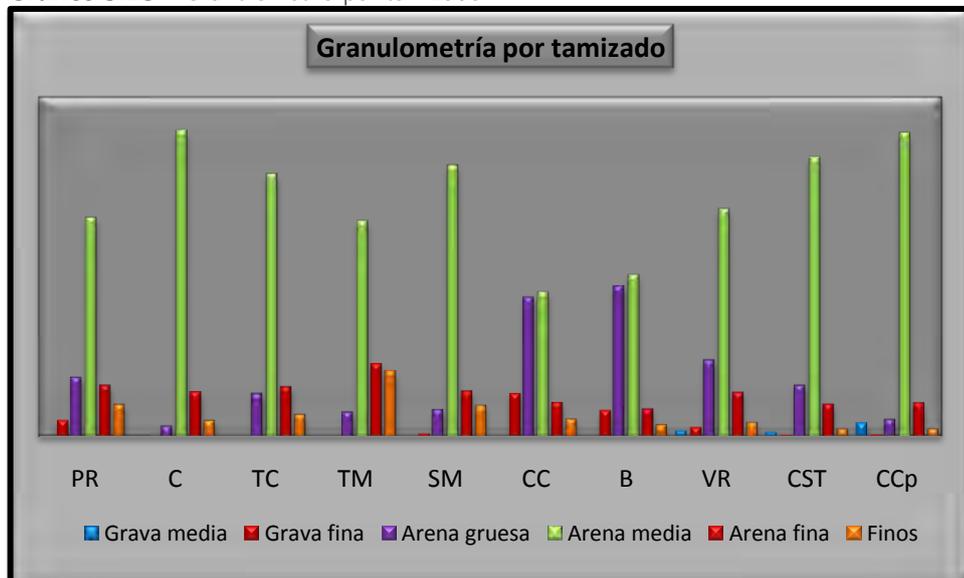
Ensayo granulométrico

Gráfico 5.14- Granulometría por imagen



PR-Puig Roig, C-Castellons, TC-Turo Calvari, TM-Tossal Del Moro, SM-Sant Miquel, CC- Costa Capellans, B-Barrugat, VR- Villaricos, CST- Cerro del Santuario, CCp- Cerro Cepero

Gráfico 5.15 – Granulometría por tamizado



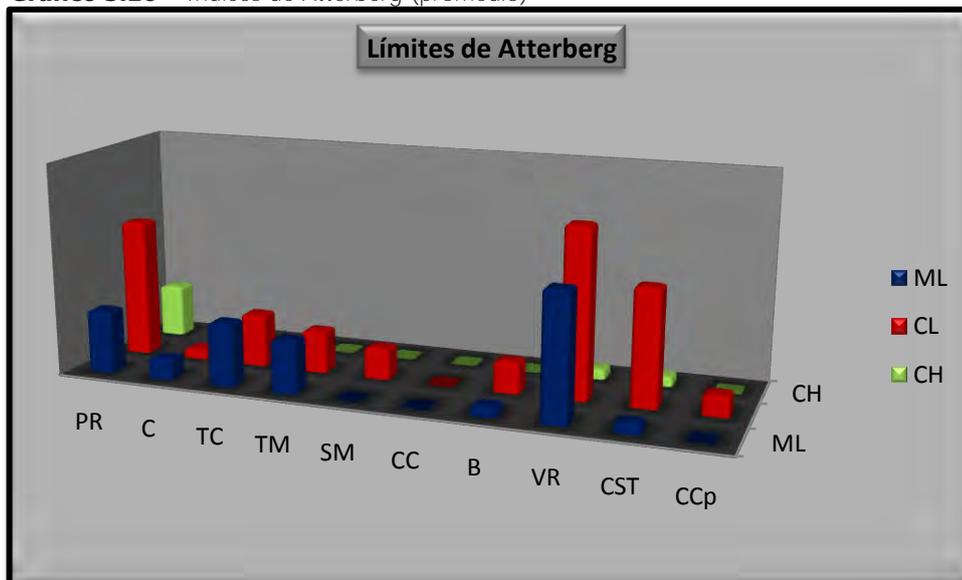
PR-Puig Roig, C-Castellons, TC-Turo Calvari, TM-Tossal Del Moro, SM-Sant Miquel, CC- Costa Capellans, B-Barrugat, VR- Villaricos, CST- Cerro del Santuario, CCp- Cerro Cepero

Los promedios granulométricos de granulometría (Gráficos 5.14 y 5.15) demuestran una pequeña variación de dimensión entre áridos de adobes y morteros de los yacimientos. Hay algunas discrepancias entre los límites extremos de tamaño (gravas y finos) debido a

diferencia de toma para resultados de las dos técnicas. Pero no influye en el proceso de comparación entre los grupos de muestras.

Ensayo para determinación de límites de Atterberg

Gráfico 5.16 – Índices de Atterberg (promedio)



PR-Puig Roig, C-Castellons, TC-Turo Calvari, TM-Tossal Del Moro, SM-Sant Miquel, CC- Costa Capellans, B-Barrugat, VR- Villaricos, CST- Cerro del Santuario, CCp- Cerro Cepero /ML- limo de baja plasticidad, CL- arcilla de baja plasticidad, CH- arcilla de alta plasticidad

En ese promedio de plasticidad (Gráfico 5.16) se puede ver que las muestras compuestas por arcillas de baja plasticidad están más presentes en los grupos.

Estudio químico

La propuesta de ese apartado es un análisis comparativo entre los resultados de fluorescencia de rayos X. Serán comparadas las características de cada yacimiento y a continuación se confrontarán las dos regiones en busca de semejanzas químicas³⁵.

El análisis de componentes principales fue realizado con datos de concentración de los elementos químicos obtenidos por XRF. Las matrices de datos contienen las muestras en las líneas y los elementos químicos en las columnas construyendo otras matrices (74 x 12) donde están los respectivos componentes mayoritarios y las concentraciones de unidades trazas. El procesamiento general utilizado fue el de "autoescalamiento" (autoscale).

³⁵ Todas las informaciones complementares sobre las concentraciones de los elementos químicos, que son aquí mencionadas, están disponibles en las tablas de resultado del respectivo yacimiento.

Fueron simulados modelos conteniendo entre 2 y 3 componentes principales cuya variancia total explicada ha oscilado de 11,98 a 57,55 %, con nivel de confianza de 95%.

Los siguientes comentarios presentan los resultados obtenidos de este análisis.

- Componentes principales

1. Nordeste de la Península Ibérica

Gráfico 5.17– Clasificación de las muestras por yacimiento (nordeste)

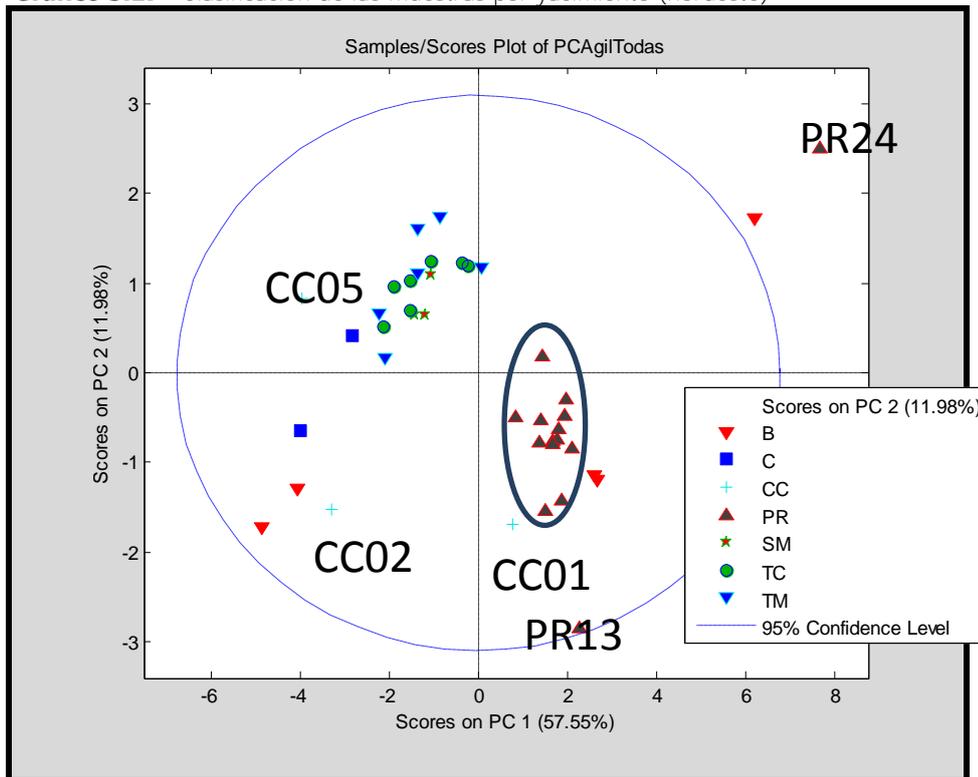
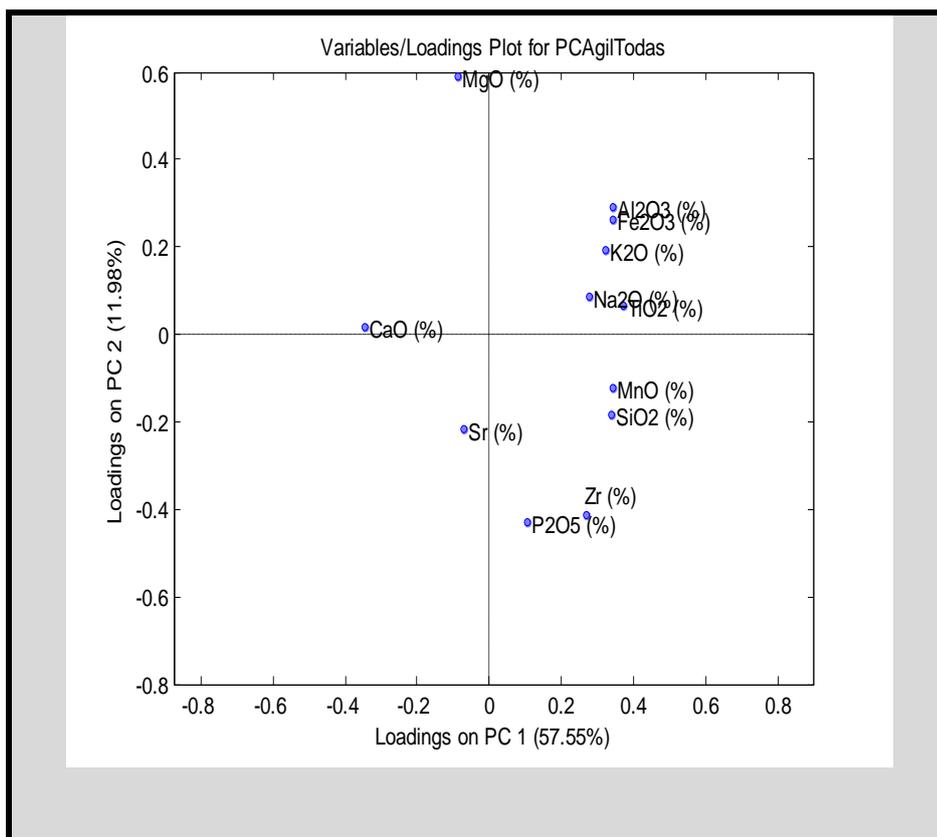


Gráfico 5.18 – Posición de los componentes químicos (nordeste)





En los Gráficos (5.17 y 5.18) se puede ver que:

- 1- En Puig Roig del Roget (PR) las muestras poseen como componentes principales la sílice (SiO_2), el óxido de manganeso (MnO), el óxido de fósforo (P_2O_5), con presencia de aluminio (Al_2O_3). Sin embargo las muestras PR-13 y PR-24 se alejan del grupo por su alto nivel de aluminio (Al_2O_3).
- 2- Las muestras de El Turo del Calvari (TC) forman un grupo con presencia de cal (CaO), aluminio (Al_2O_3), óxido de hierro (Fe_2O_3) y óxido de magnesio (MgO).
- 3- El Tossal del Moro (TM) está caracterizado por la cal (CaO), el aluminio (Al_2O_3), el óxido de magnesio (MgO) y el óxido de hierro (Fe_2O_3).
- 4- Els Castellons de Flix (C) tiene la cal (CaO) como elemento principal, con presencia de aluminio (Al_2O_3). Sin embargo C-3 se aleja por tener presencia de óxido de azufre (SO_3).
- 5- En Sant Miquel de Vinebre (SM) las muestras poseen predominancia de cal (CaO), aluminio (Al_2O_3), óxido de magnesio (MgO) y óxido de hierro (Fe_2O_3).

6- En Costa Capellans (CC) se observa en CC-1 una composición de sílice (SiO_2) seguido de aluminio (Al_2O_3). Mientras que CC-3 y CC-5 poseen la cal (CaO) como elemento principal.

7- Que las muestras de Villa de Barrugat (B) forman tres grupos. En B-1, B-2 y B-3 los componentes principales son la sílice (SiO_2), el aluminio (Al_2O_3), el óxido de hierro (Fe_2O_3) y el óxido de magnesio (MgO). La muestra B-7 posee óxido de azufre (SO_3) como elemento principal, seguido de la cal (CaO). La muestra B-8 se diferencia por tener solamente la cal (CaO) como elemento principal.

2. Sur de la Península Ibérica

Gráfico 5.19 – Clasificación de las muestras por yacimiento (sur)

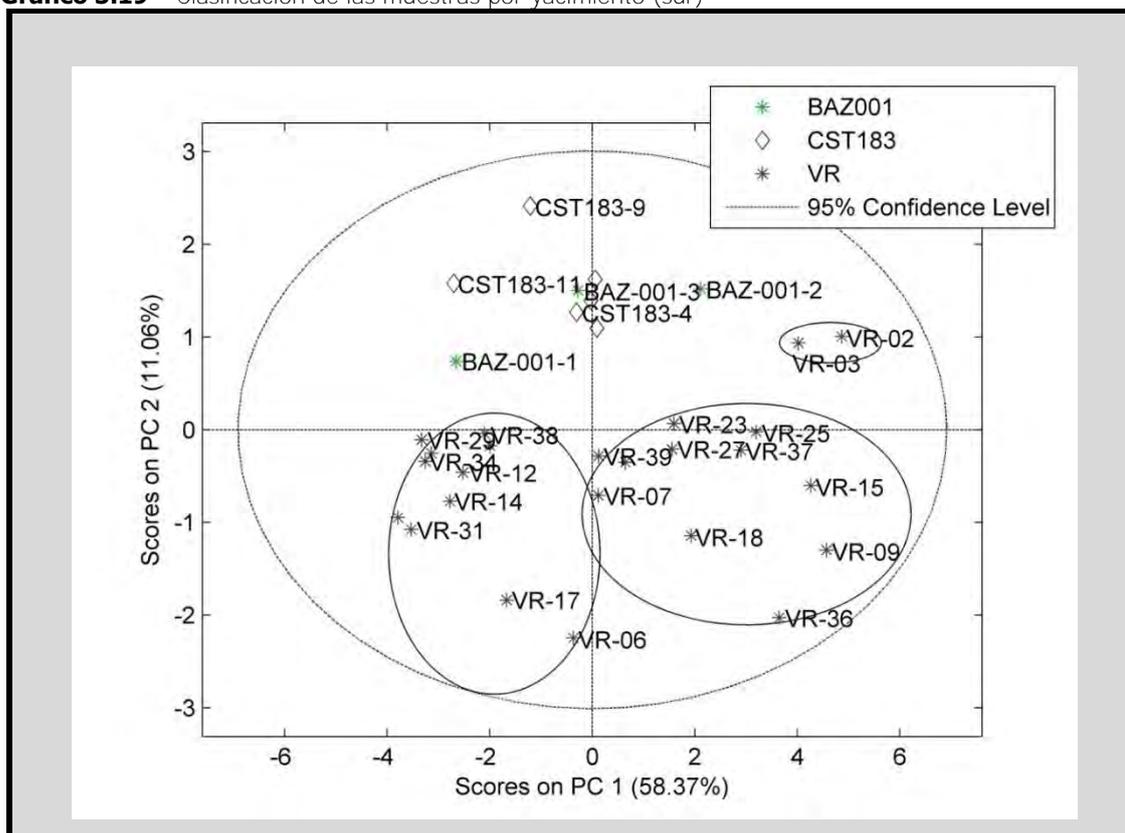
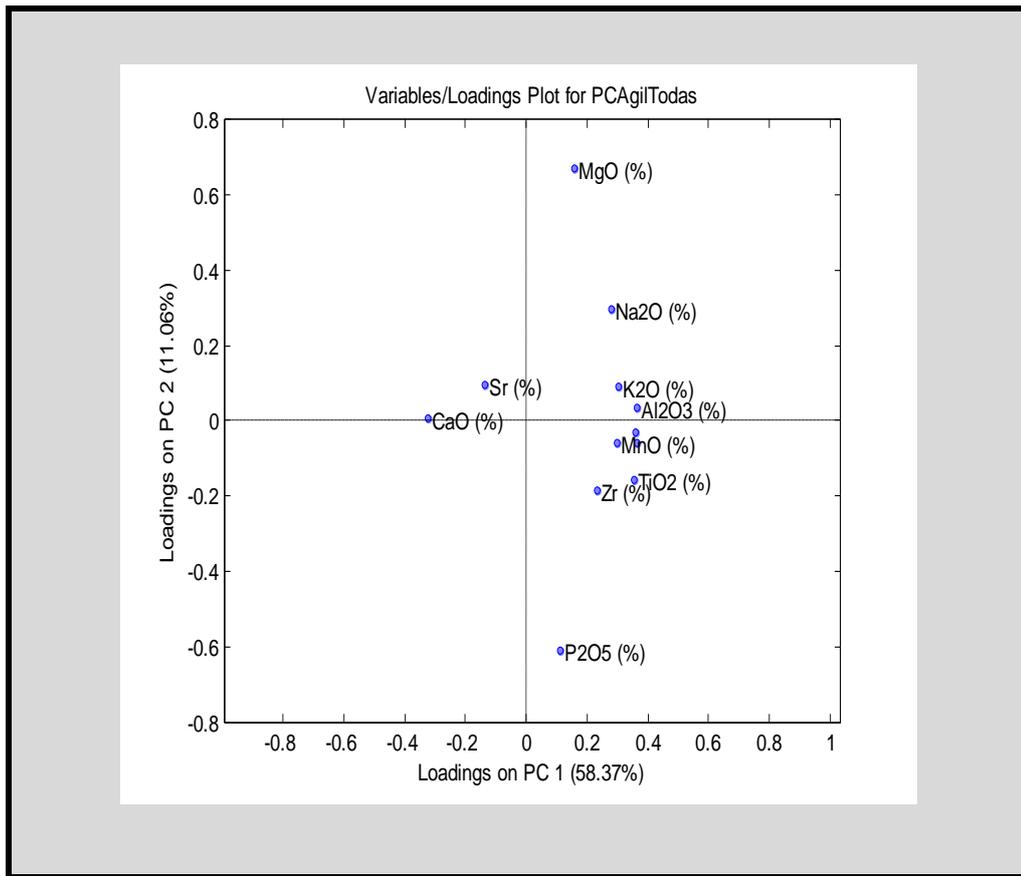


Gráfico 5.20 – Posición de los componentes químicos (sur)



En los gráficos (5.19 y 5.20) se percibe que:

8- Las muestras de Villaricos (VR) forman tres grupos con características distintas.

Sus particularidades son:

- A- En las muestras VR-18 y VR-27 los componentes principales son la sílice (SiO_2), el aluminio (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3), con presencia de cal (CaO) en las muestras VR-18 y VR-27.
- B- Los componentes principales son la cal (CaO) y el aluminio (Al_2O_3), con fuerte presencia de óxido de azufre (SO_3) en VR-14 y VR-19.
- C- Los componentes principales son la sílice (SiO_2), el aluminio (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3).

9- En Cerro de Santuario (CST183) los componentes principales son la sílice (SiO_2), el aluminio (Al_2O_3), óxido de magnesio (MgO) y óxido de hierro (Fe_2O_3).

10- Las muestras de Cerro Cepero (BAZ001) son disgregadas. BAZ001-1 posee predominancia de Cal (CaO). BAZ001-2 tiene como componentes principales son la sílice (SiO_2), el aluminio (Al_2O_3), óxido de magnesio (MgO) y óxido de hierro (Fe_2O_3). En BAZ001-3 se puede ver predominio de Cal (CaO), con presencia de óxido de azufre (SO_3), aluminio (Al_2O_3), óxido de magnesio (MgO) y óxido de hierro (Fe_2O_3).

- Elementos traza

1. Nordeste de la Península Ibérica

Gráfico 5.21 – Clasificación de las muestras por yacimiento (nordeste)

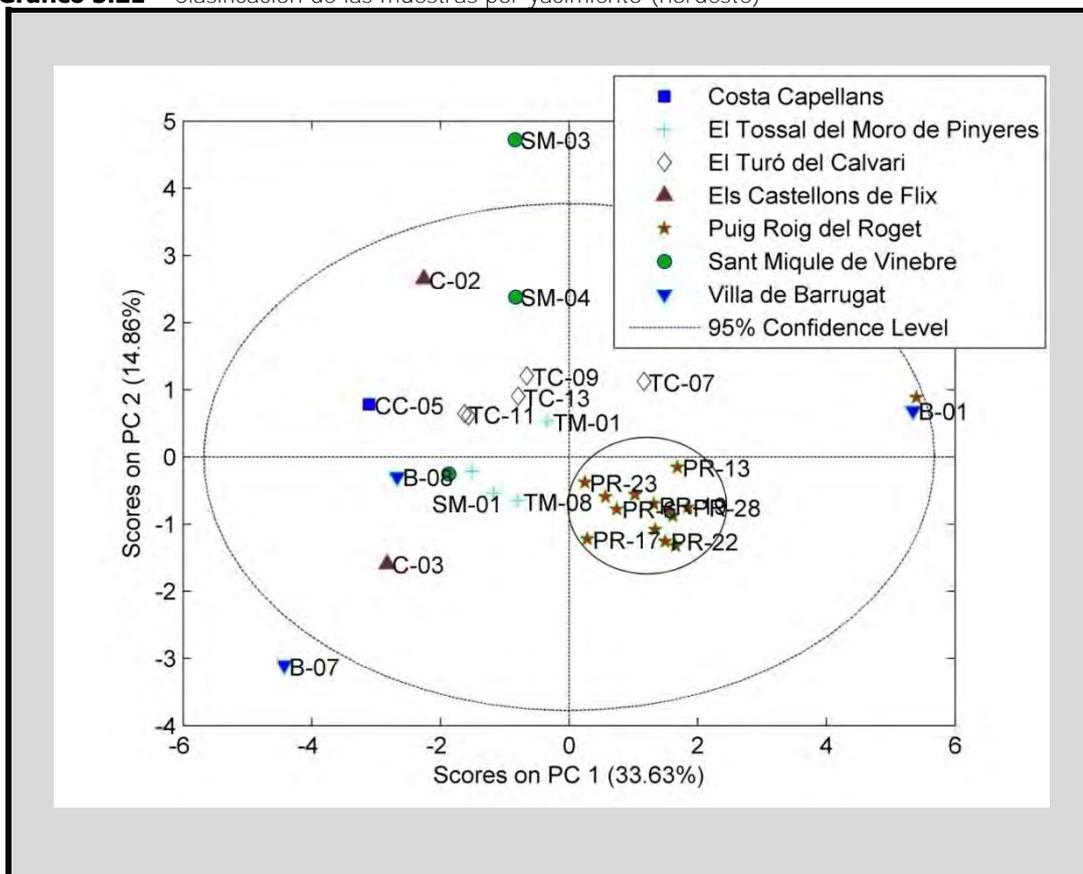
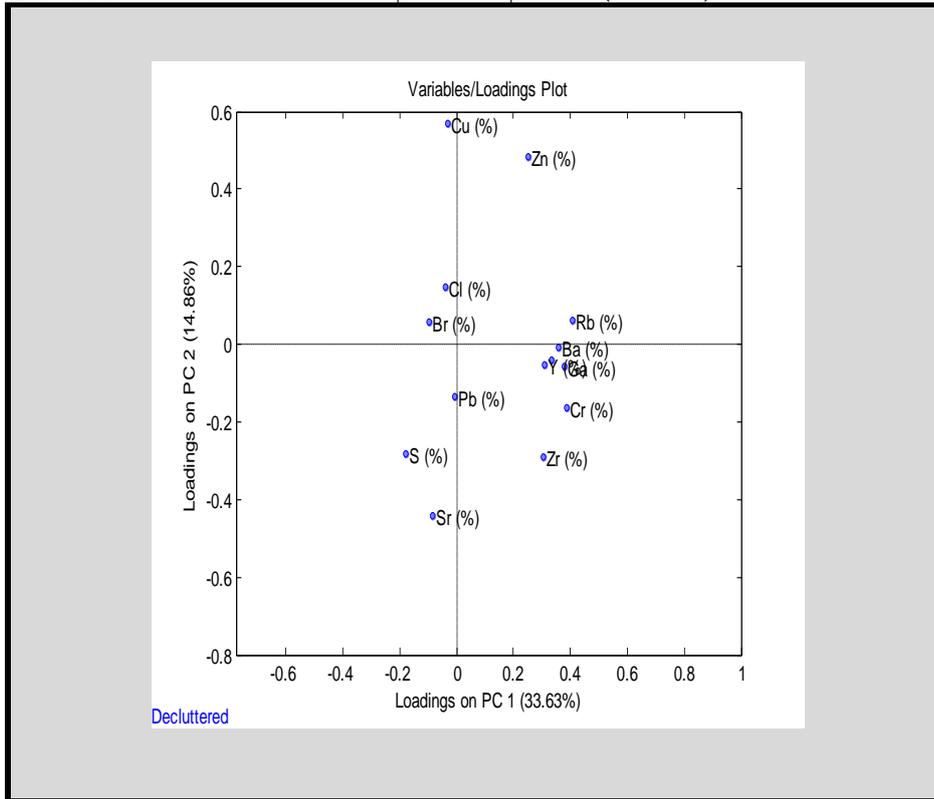


Gráfico 5.22 – Posición de los componentes químicos (nordeste)



En los gráficos (5.21 y 5.22) se observa que:

- 1- Puig Roig del Roget (PR) tiene como elementos traza estroncio (Sr), zirconio (Zr), bario (Ba), cromo (Cr), plomo (Pb), galio (Ga) e itrio (Y). Se apartan del grupo las muestras PR-23 y PR-24 por su traza de zinc (Zn) y rubidio (Rb) y la muestra PR-13 por su cantidad de estroncio (Sr), zirconio (Zr) y bario (Ba).
- 2- Las muestras de El Turó del Calvari (TC) presentan trazos de azufre (S), estroncio (Sr), cobre (Cu), cloro (Cl), zinc (Zn), zirconio (Zr), rubidio (Rb) y bromo (Br). TC-7 se distancia de las demás por su cantidad de bario (Ba).
- 3- Que en El Tossal del Moro (TM) las muestras son particularizadas por la presencia de azufre (S), estroncio (Sr), cloro (Cl), cobre (Cu) y bromo (Br). También se observa zirconio (Zr) y bario (Ba). La muestra TM-01 se aparta de las demás por su gran cantidad de azufre (S), cloro (Cl), cobre (Cu) e zinc (Zn).

- 4- Las muestras de Els Castellons de Flix (C) son particularizadas por trazas de azufre (S), cobre (Cu) y estroncio (S), con presencia de bario (Ba). La muestra C-03 se aleja por tener presencia de gran cantidad de azufre (S).
- 5- En Sant Miquel de Vinebre (SM) se observa presencia azufre (S), bario (Ba), cloro (Cl), estroncio (Sr), zirconio (Zr) y cobre (Cu). Sin embargo las muestras poseen elementos que las particularizan y distancian: SM-01 con bario (Ba); SM-3 con cobre (Cu) y SM-4 con cloro (Cl).
- 6- Costa Capellans (CC) está particularizada por presencia de estroncio (Sr) y zirconio (Zr). Sin embargo CC-5 se aleja por su cantidad de cloro (Cl).
- 7- Villa de Barrugat (B) está caracterizada por presencia de general de estroncio (Sr) y zirconio (Zr). No obstante se puede ver particularidades en las muestras: B-1 posee gran cantidad de bario (Ba), con presencia de cloro (Cl), cromo (Cr), zinc (Zn) y rubidio (Rb); la muestra B-7 tiene una gran cantidad azufre (S) y B-8 se diferencia por posee cantidad moderada de azufre (S) y presencia de plomo (Pb).

2. Sur de la Península Ibérica

Gráfico 5.23 – Clasificación de las muestras por yacimiento (sur)

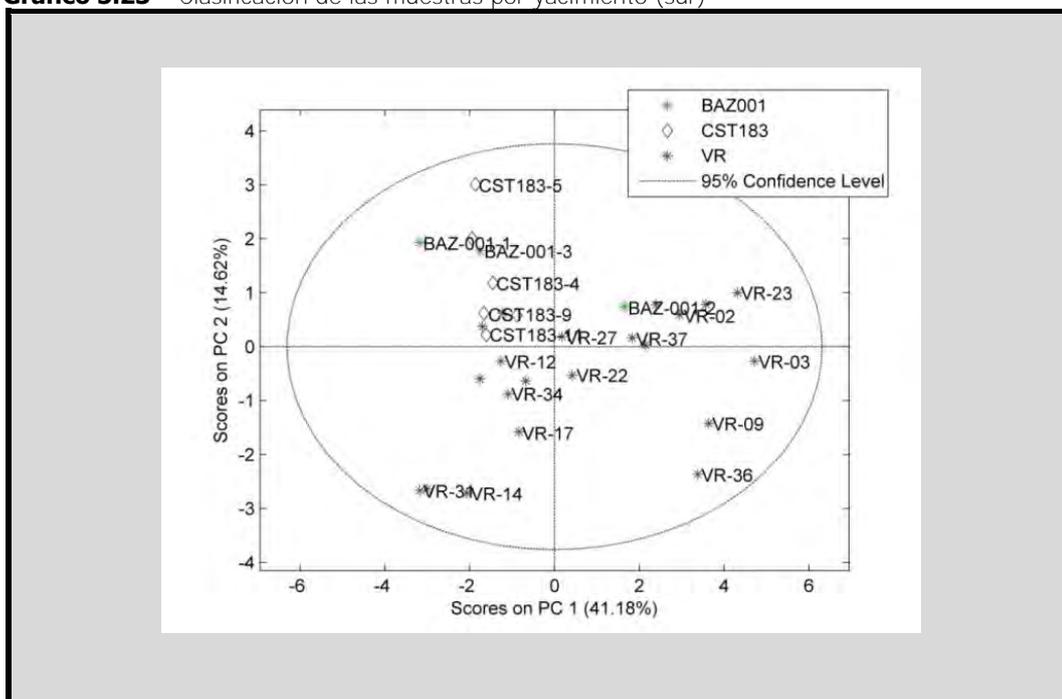
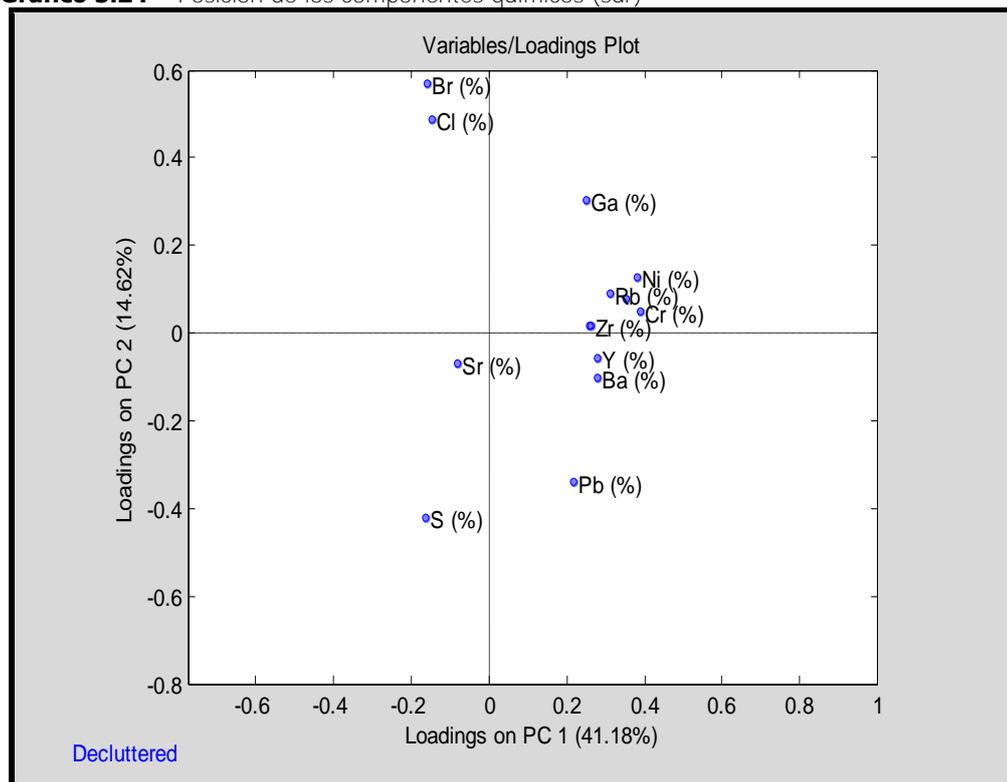


Gráfico 5.24 – Posición de los componentes químicos (sur)



En los gráficos (5.23 y 5.24) se puede ver que:

- 8- Basado en la tabla de grupos formados por las muestras de Villaricos (VR) ya citada anteriormente en este apartado y las tablas de resultados numérico de cada muestra, se observa las siguientes particularidades:
 - A- Los trazas que predominan son estroncio (Sr) y bario (Ba). Con variaciones de plomo (Pb) en VR-09 y VR-36, zirconio (Zr) en VR-07 y VR-37, cloro (Cl) en VR-22, VR-25 y VR-37. Además de eso, encontramos trazos de cromo (Cr), rubidio (Rb), yodo (I), cobre (Cu) y níquel (Ni).
 - B- Los elementos trazas predominantes son estroncio (Sr) y azufre (S), con fuerte presencia de plomo (Pb) y cloro (Cl). También se puede observar pequeña cantidad de bario (Ba) en algunas muestras.
 - C- No hay predominio de elementos. Se puede ver, de manera dispersa, presencia de estroncio (Sr), plomo (Pb), cloro (Cl), zirconio (Zr) y cobre (Cu).

- 9- En Cerro del Santuario (CST183) los elementos trazas que predominan son cloro (Cl) y estroncio (Sr), con presencia de bario (Ba), zirconio (Zr). Sin embargo las muestras son particularizadas por su nivel de azufre (S) y bromo (Br). La muestra CST183 -13

se aleja de las demás por su elevado nivel de estroncio (Sr) y azufre (S), con presencia fuerte de zirconio (Zr) y bario (Ba).

10- Las muestras de Cerro Cepero (BAZ001) tienen variaciones. BAZ001-01 y BAZ001-03 poseen trazos de cloro (Cl), estroncio (Sr) y bromo (Br), con fuerte presencia de azufre (S) en la última. En BAZ001-02 se observan trazos fuertes de estroncio (Sr) y bario (Ba), sin embargo está particularizada por las presencias de zinc (Zn), cromo (Cr), rubidio (Rb), zirconio (Zr), plomo (Pb), níquel (Ni) y galio (Ga).

- Comparativos de las dos regiones

- Componentes principales

Gráfico 5.25 – Clasificación de las muestras por nombre – Dos regiones

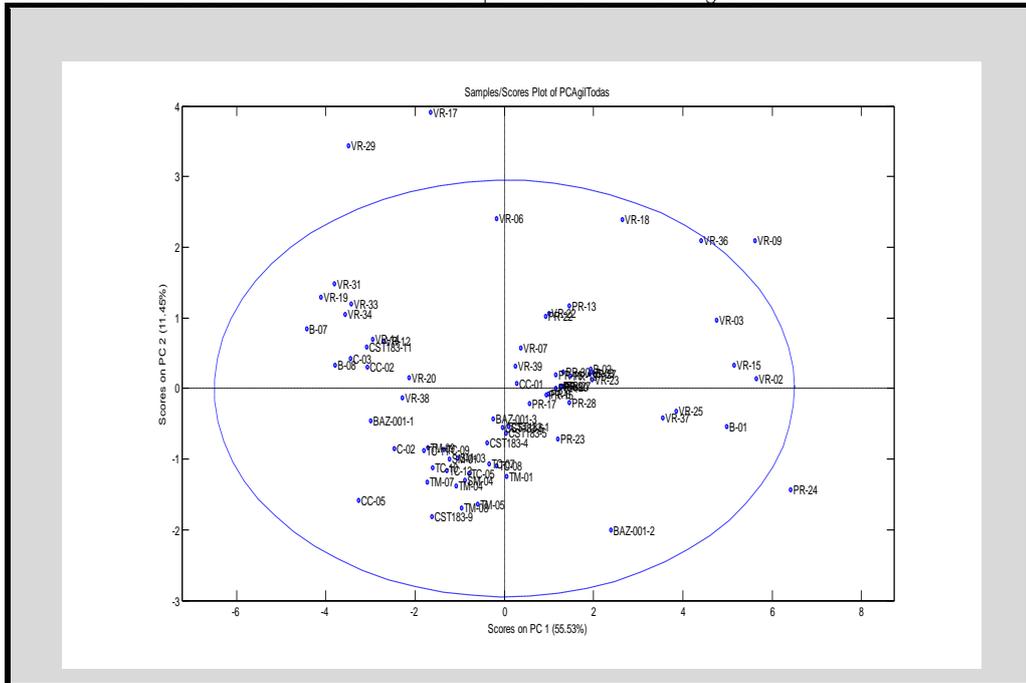


Gráfico 5.26 – Clasificación de las muestras por yacimiento – Dos regiones



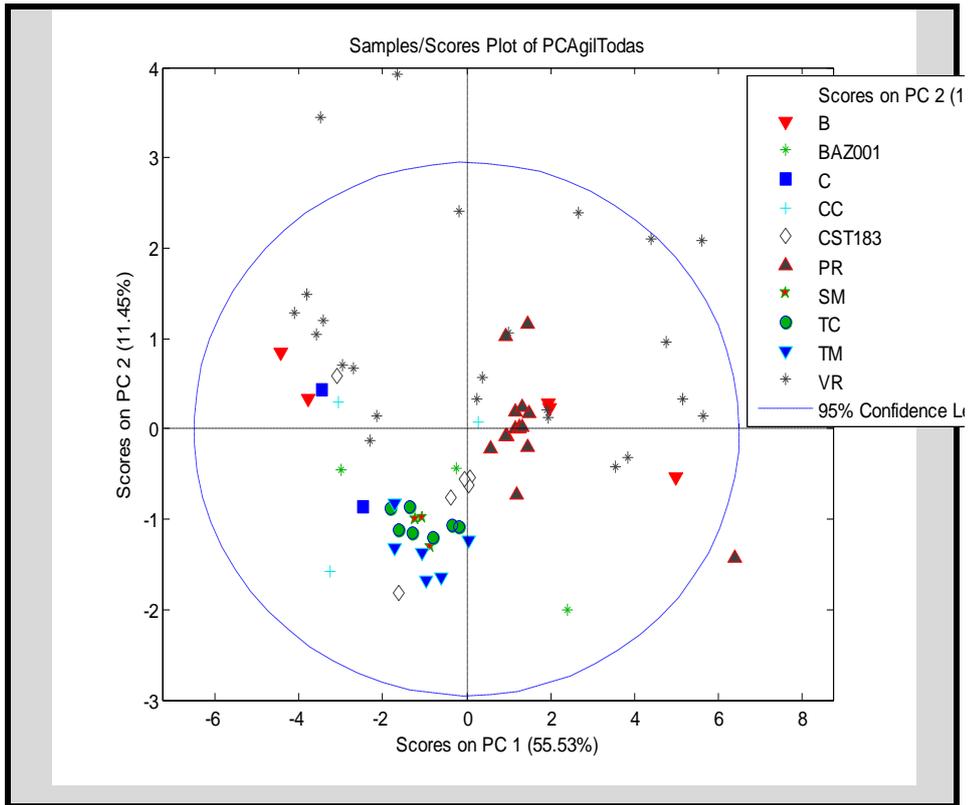


Gráfico 5.27 – Clasificación de las muestras por regiones

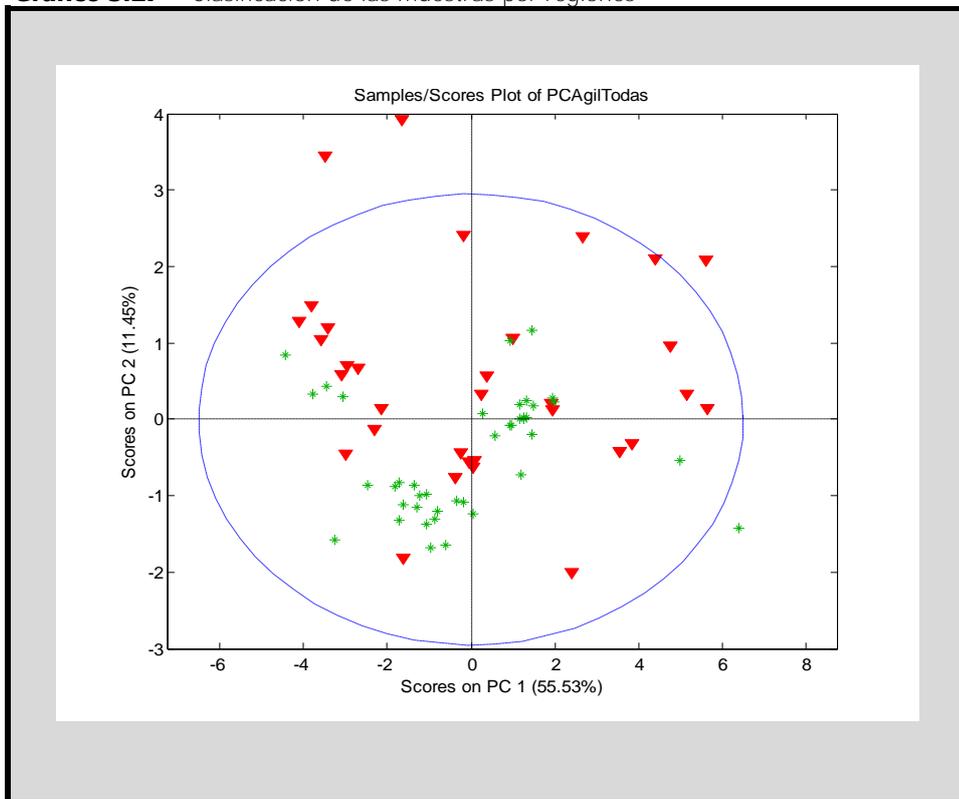
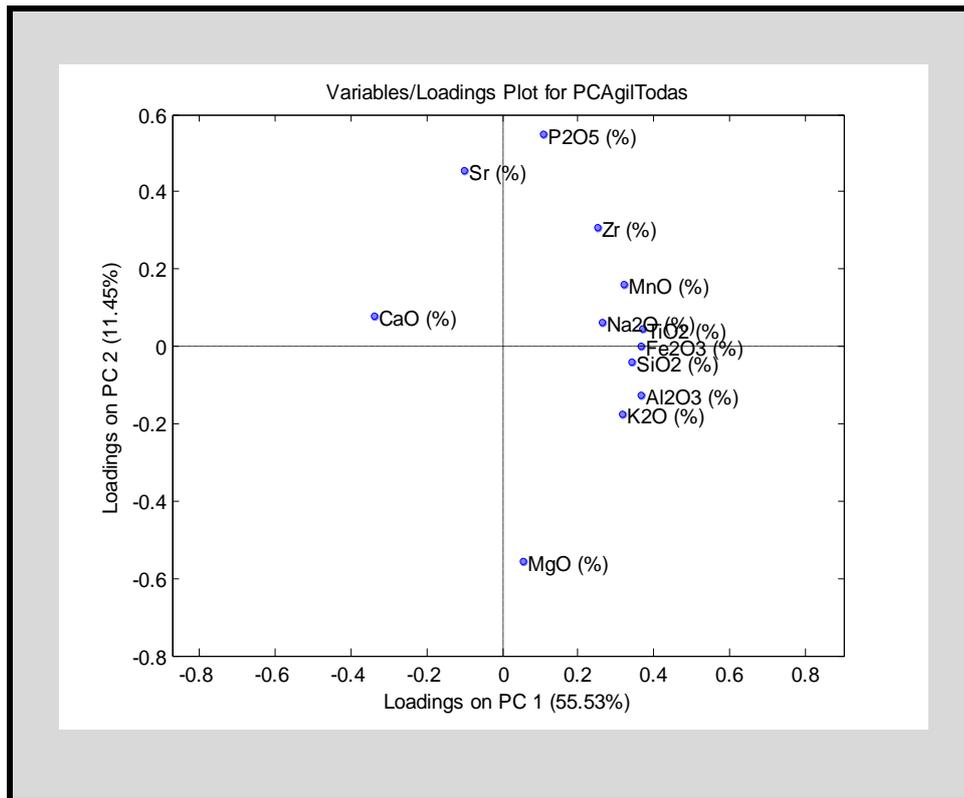


Gráfico 5.28– Posición de los componentes químicos – Dos regiones



En los gráficos (5.25, 5.26, 5.27 y 5.28) se puede ver que:

Comparando los yacimientos y sus componentes principales (Gráfico 5.26) se puede observar similitudes de composición química entre las muestras de Turó del Calvari, Tossal del Moro y Sant Miquel de Vinebre. Con la ayuda de las tablas cuantitativas en el capítulo de resultados se puede ver que las muestras B-07 y B-08 son próximas en constitución al grupo B de Villaricos. Los grupos de muestras de Puig Roig del Roget y Cerro del Santuario siguen con sus características sin tener correlaciones con las restantes. Las muestras de Cerro Cepero, Els Castellons, Costa Capellans y las demás muestras de Villaricos no tienen semejanzas significativas como las otras.

Confrontando las dos regiones (Gráfico 5.27) se observa que las muestras de nordeste de la Península Ibérica (actual Cataluña) tienen más correlaciones químicas se es comparada con el sur, donde se puede ver una mayor dispersión entre las muestras.

- Elementos traza

Gráfico 5.29 – Clasificación de las muestras por yacimiento – Dos regiones

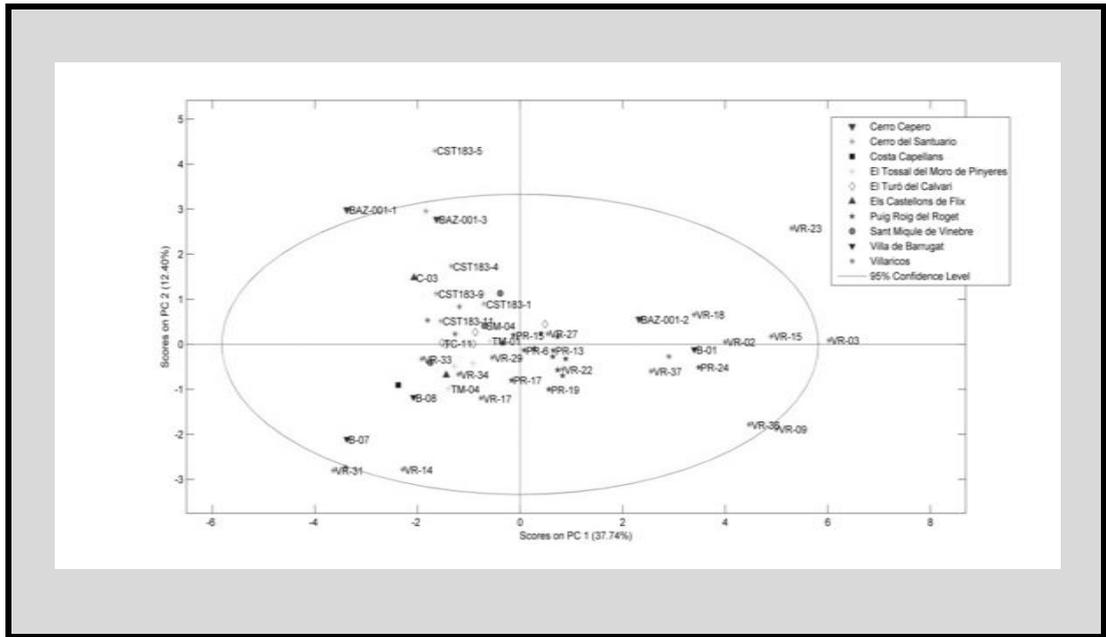


Gráfico 5.30 – Clasificación de las muestras por yacimiento – Dos regiones

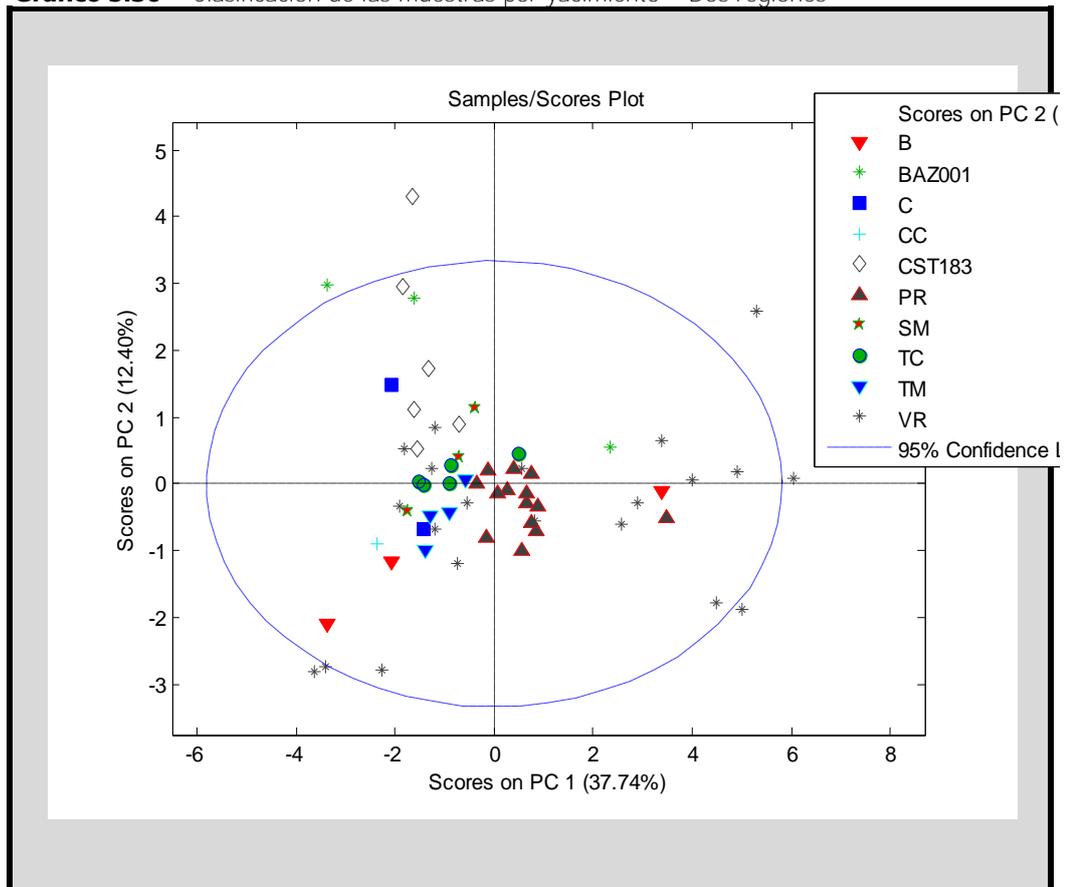


Gráfico 5.31 – Clasificación de las muestras por regiones

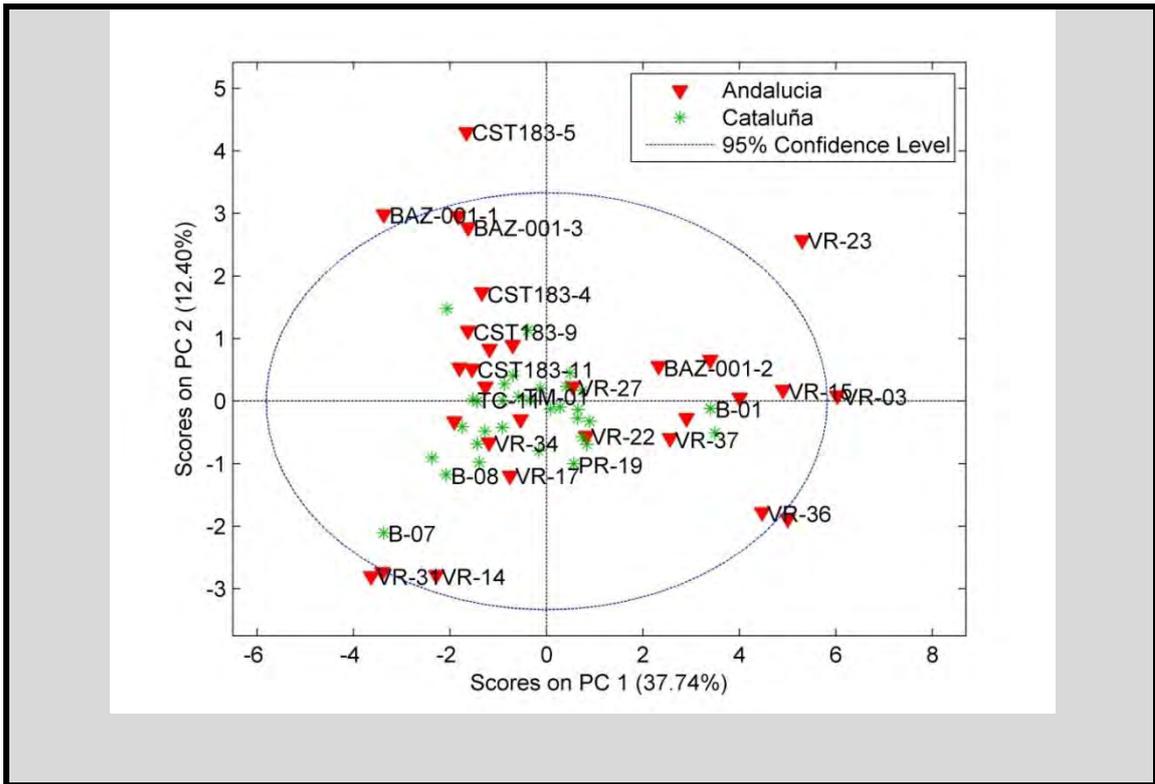
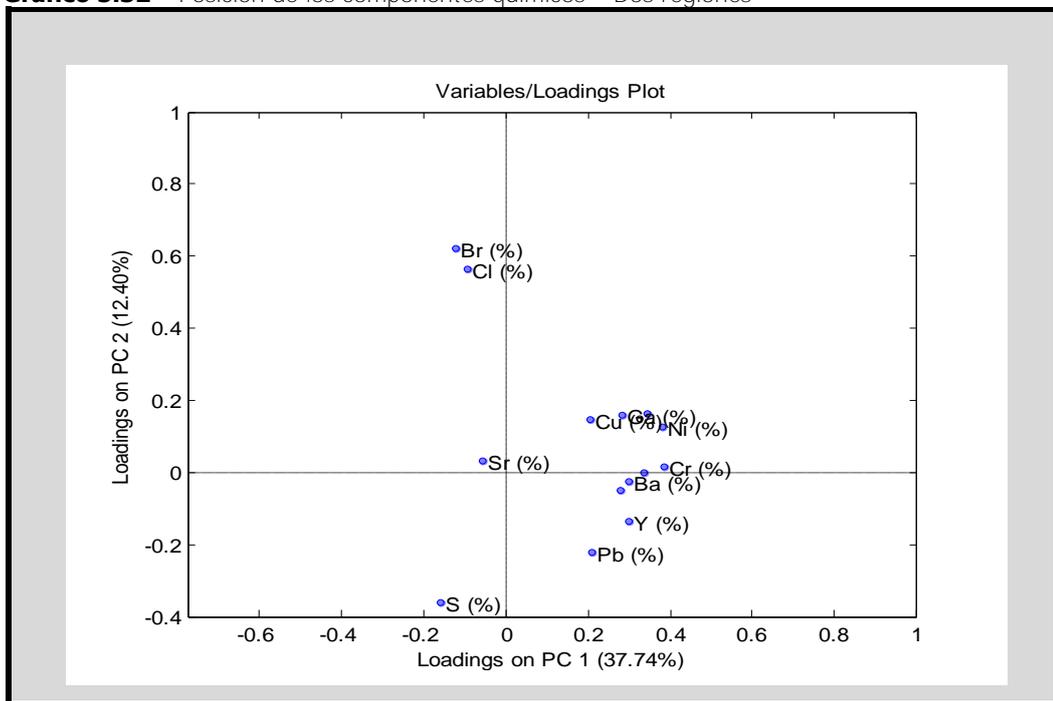


Gráfico 5.32 – Posición de los componentes químicos – Dos regiones



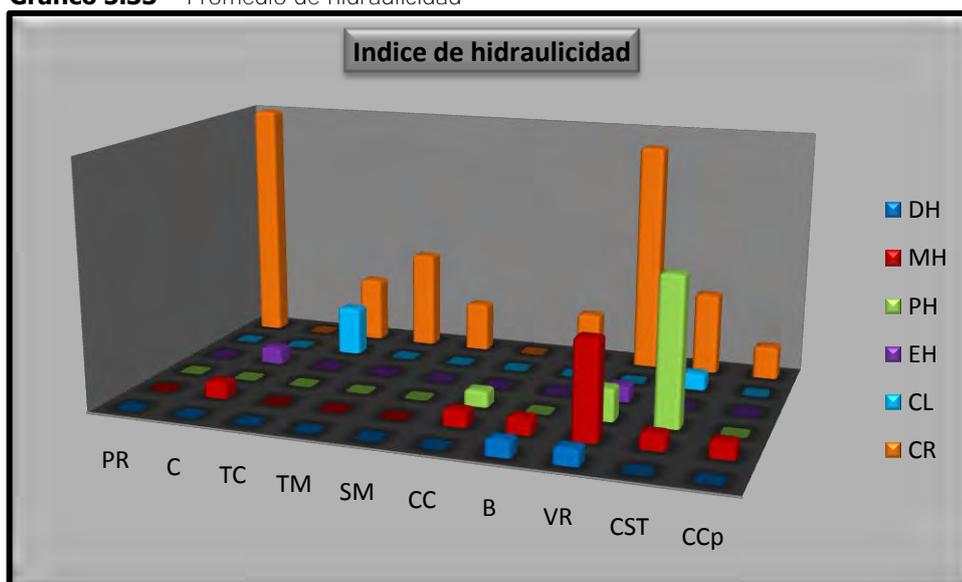
En los gráficos (5.29, 5.30, 5.31 y 5.32) se puede ver que:

En la comparación entre los yacimientos y los elementos traza (Gráfico 5.30), Turó del Calvari, Tossal del Moro y Sant Miquel de Vinebre permanecen con sus similitudes de composición química. Las muestras B-07 y B-08 están cercanas al grupo B de Villaricos, comprobando las similitudes como visto anteriormente. Las muestras de Puig Roig del Roget forman un grupo más compacto. Cerro del Santuario pierde la formación que poseía. Las muestras de Cerro Cepero, Els Castellons, Costa Capellans y las demás muestras de Villaricos siguen dispersas por sus diferencias químicas.

Confrontando las dos regiones (Gráfico 5.31) se puede ver que las muestras de nordeste de la Península Ibérica (actual Cataluña) mantienen las correlaciones químicas se es contrastada con el sur, adonde se consigue notar una escasa formación de grupo entre las muestras.

Índice de hidraulicidad

Gráfico 5.33 – Promedio de hidraulicidad



PR-Puig Roig, C-Castellons, TC-Turo Calvari, TM-Tossal Del Moro, SM-Sant Miquel, CC- Costa Capellans, B-Barrugat, VR- Villaricos, CST- Cerro del Santuario, CCp- Cerro Cepero / DH- Débilmente hidráulica, MH- Medianamente hidráulica, PH- Propiamente hidráulica, EH- Eminentemente hidráulica, CL-Cemento lento, CR- Cemento rápido

En el gráfico de promedio de hidraulicidad (Gráfico 5.33) se observa que las pastas para la fabricación de los adobes y morteros tenían, en su mayoría, la cualidad de cemento rápido.

Particularidades

Durante los ensayos granulométricos fueron encontrados algunos fragmentos que sugieren su uso en las pastas para la fabricación de los adobes y morteros:

A- Puig Roig del Roget

- Restos orgánicos en la muestra PR-14.
- Fragmentos de caolinita en PR-13.
- Posibles chamotas (arcilla cocida o piedra refractaria) en las muestras PR-7 y PR-19.

Figura 5.1 – Fragmentos orgánicos (PR14)

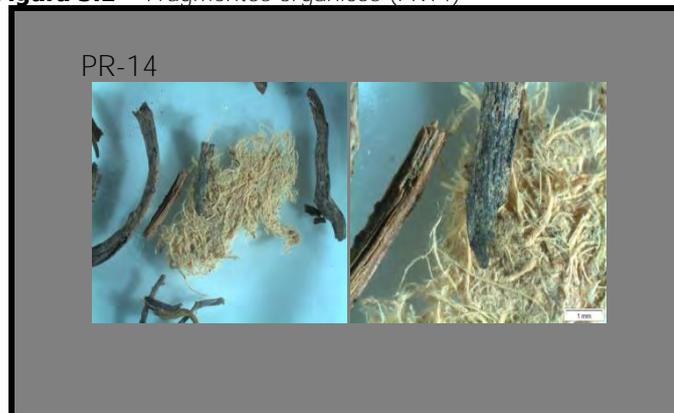


Figura 5.2 – Fragmentos de posible caolinita (PR13)

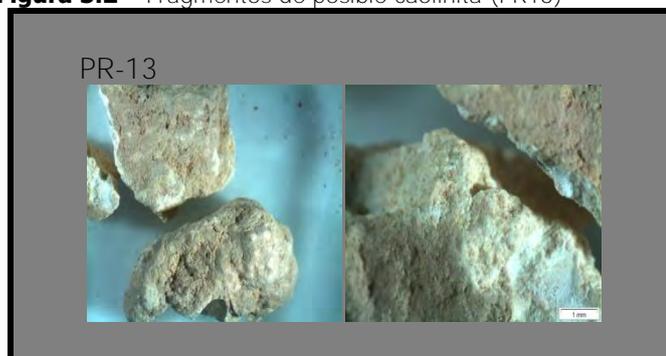
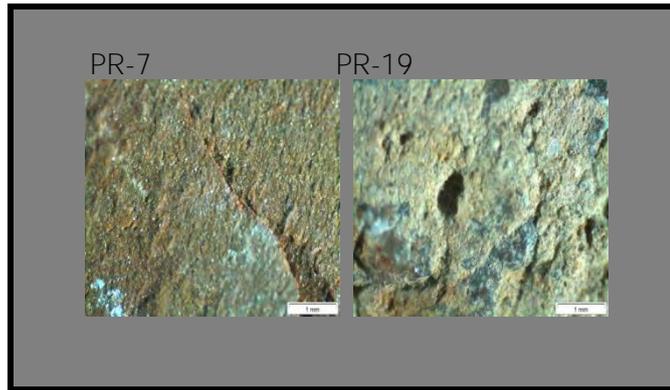


Figura 5.3 – Posible chamota (PR-7 y PR-19)



B- El Turó del Calvari

- Restos orgánicos en las muestras TC-1 y TC-13.

Figura 5.4 – Fragmentos orgánicos (TC-1 y TC-13)



C- El Tossal del Moro

- Chamotas (arcilla cocida o piedra refractaria) en la muestra TM-5.

Figura 5.5 – Posible chamota (TM-5)



D- Sant Miquel de Vinebre

- Restos orgánicos en la muestra SM-3.

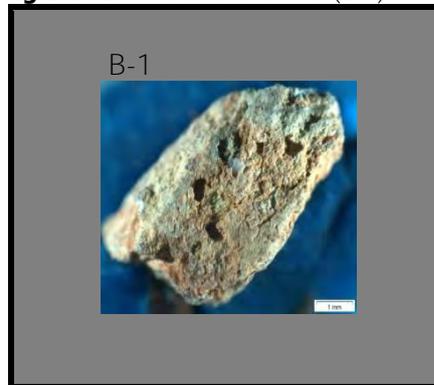
Figura 5.6 – Fragmentos orgánicos (SM-3)



E- Villa de Barrugat

- Chamotas (arcilla cocida o piedra refractaria) en la muestra B-1.

Figura 5.7 – Posible chamota (B-1)



F- Villaricos

- Toba volcánica en las muestras VR-01 y VR-03.

Figura 5.8 – Fragmentos que sugieren tobas volcánicas (VR-1 y VR-3)



5.2. Estudio comparativo de características y clasificación

Basados en los resultados anteriores y en las particularidades de cada muestra analizada, se propone una clasificación de los materiales estudiados. En esa labor se ha utilizado algunos de los hallazgos encontrados sobre las muestras y, obviamente, se podría seguir con la investigación.

5.2.1. Sobre adobes

De las investigaciones realizadas sobre el adobe se deduce que las características de este son muy similares independientemente de donde procedan las muestras y de su cronología (GAMA-CASTRO, 2012). Se observa en la mayoría de los estudios hechos hasta el momento que no existe variación alguna entre la tierra empleada para los distintos elementos constructivos y la composición de estos mismos (BONET et al, 2000). Generalmente la tierra se utiliza sin ningún método de procesado (BONET Y MATA, 2002), sin embargo se da un cierto grado de selección de los sedimentos naturales según el uso previsto y las características geológicas de la región (CAPEL MARGARITO, 1977).

Por este motivo es difícil realizar una clasificación de textura optimizada de los adobes con detalles comparativos entre esos elementos. La tierra y el material orgánico añadidos son quién determinan su perfil textural. Como el tejido vegetal se degrada con el pasar del tiempo, la composición de la tierra utilizada es un factor de difícil identificación por cuenta de su diversidad. De acuerdo con esto, siguiendo las normativas mundiales (FALCETO, RUIZ MAZZARRON y CAÑAS GUERRERO, 2011), que coinciden con las recomendaciones de institutos de investigaciones en el asunto (RED HABITERRA, 1995) y de otros autores (RODRÍGUEZ Y SAROZA, 2006) se puede distinguir dos tipos de adobes, según sus características mineralógicas y de texturas:

- a) adobe simple, constituido por unas adecuadas proporciones de arena, arcilla, fibra orgánica y agua
- b) adobe estabilizado donde, dada la insuficiente resistencia frente a la humedad que presenta el adobe simple, se le añade algún elemento, que es llamado estabilizante, para mejorar esta propiedad. Los elementos añadidos pueden ser cal, yeso, ceniza, material cerámico, ladrillo.

En la Tabla 5.1 se muestran las 46 muestras de adobes estudiadas, con sus clasificaciones.

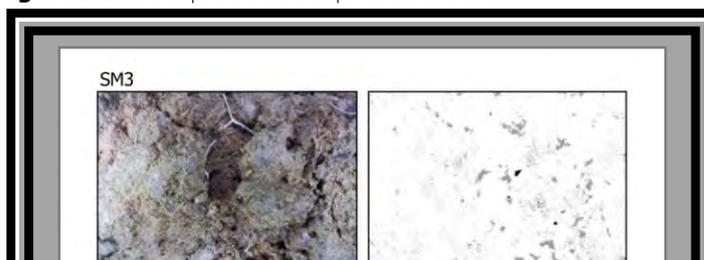
Tabla 5.1 - Tipos de adobes

Muestra	Tipo	Muestra	Tipo
B1	Estabilizado	PR2	Estabilizado
B2	Estabilizado	PR3	Estabilizado
B3	Estabilizado	PR4	Estabilizado
B4	Estabilizado	PR5	Estabilizado
B5	Estabilizado	PR6	Estabilizado
C1	Estabilizado	PR7	Estabilizado
C2	Simple	PR18	Estabilizado
C3	Estabilizado	PR19	Estabilizado
BAZ001/2	Simple	PR20	Estabilizado
BAZ001/3	Estabilizado	PR24	Estabilizado
CST183 1	Estabilizado	PR26	Estabilizado
CST183 2	Estabilizado	PR29	Estabilizado
CST183 3	Estabilizado	SM1	Simple
CST183 4	Estabilizado	SM2	Simple
CST183 5	Simple	SM3	Simple
CST183 6	Estabilizado	SM4	Estabilizado
CST183 7	Estabilizado	TM1	Estabilizado
CST183 8	Estabilizado	TM2	Estabilizado
CST183 9	Estabilizado	TM3	Estabilizado
CST183 10	Estabilizado	TM4	Simple
CST183 11	Estabilizado	TM6	Estabilizado
CST183 12	Estabilizado	TM7	Estabilizado
PR1	Estabilizado	TM8	Estabilizado

En la tabla anterior se observa que los ejemplares de adobes se encuentran distribuidos de manera heterogénea y los de tipología *estabilizadas* superan en número a los *simples*.

Como segunda etapa de ese proceso, se ha hecho la comparación de las informaciones de textura de elementos con tipologías distintas, con intención de corroborar todo el trabajo (Figura 5.9).

Figura 5.9 - Comparación de tipos de adobes



Adobes: SM3 (Simple); SM4 (Estabilizado); TM3 (Estabilizado); TM4 (Simple)

Este pequeño muestreo señala que el método elegido para diferenciar los adobes no es muy eficaz. Como se puede ver en la figura anterior, las imágenes de las muestras exponen detalles visuales que son insuficientes para distinguir un elemento perteneciente a una clase u otra.

La Tabla 5.2 presenta la clasificación realizada siguiendo el criterio de las coordenadas cromáticas.

Tabla 5.2 - Clasificación de adobes

Clase	Color	Muestras	Cronología
Adobe simple			
I-a	Rosáceo	TM4	S. IV a.C.

		C2	S. IX-I a.C.
I-b	Blanco	BAZ001 2	S. II a.C.
I-c	Gris	SM1	S. II-I a.C.
I-d	Marrón muy claro	CST183 5	S. V-III a.C.
I-e	Marrón claro	SM2, SM3	S. II-I a. C.
Adobe estabilizado			
II-a	Rojo claro	B5	S. I a.C.-VII d.C.
II-b	Rosáceo	TM1, TM2, TM6, TM8 PR1, PR2, PR7, PR26	S. IV a.C. S. X-VII a.C.
II-c	Gris rosáceo	B2, B3 CST183 1, CST183 8, CST183 11 PR3, PR5, PR6, PR18, PR19 TM7	S. I a.C.-VII d.C. S. V-III a.C. S. X-VII a.C. S. IV a.C.
II-d	Gris claro	B1 CST183 3, CST183 4, CST183 6, CST183 7 BAZ001 3 TM3 PR29 B4 C1	S. I a.C.-VII d.C. S. V-III a.C. S. II a.C. S. IV a.C. S. X-VII a.C. S. I a.C.-VII d.C. S. IX-I a.C.
II-e	Gris	PR4, PR20	S. X-VII a.C.
II-f	Blanco	CST183 9, CST183 12	S. V-III a.C.
II-g	Marrón muy claro	C3 CST183 10	S. IX-I a.C. S. V-III a.C.
II-h	Marrón claro	PR24	S. X-VII a.C.
II-i	Rosa amarronado	SM4 CST183 2	S. II-I a.C. S. V-III a.C.

5.2.2 Sobre morteros

En esta memoria se analizan 75 muestras de distintos tipos de morteros (morteros propiamente dichos, argamasas, revocos, *etc.*). Todas estas pueden considerarse morteros en el sentido más general del término, es decir que son una mezcla de tres componentes: áridos, ligante y agua (ALONSO RODRÍGUEZ et al, 2010).

A diferencia de los adobes, los morteros sí que pueden incorporar una clasificación posiblemente más eficiente, ya sea atendiendo a su composición mineralógica, o por otras características físico-químicas (ALEJANDRE SÁNCHEZ, 2002). La bibliografía consultada pone de manifiesto que con la composición mineralógica, certificada por análisis semicuantitativo utilizando difracción de rayos X, se puede obtener tipologías distintas, que serían consecuencia de estudios meticulosos en el campo (PÉREZ SIRVENT et al, 2001).

Los morteros, vistos como rocas sedimentarias clásticas (BALBÁS, 2002), también pueden clasificarse desde el punto de vista petrográfico, es decir, determinando su composición, textura y porosidad, así como sus relaciones; a través de observaciones a simple vista, por lupa binocular y los datos obtenidos en los análisis de difracción de rayos X (AGULLEIRO y ALONSO, 1972a, 1972b). Lo que justifica una vez más la elección de esas técnicas. Por ello, es importante conocer la naturaleza de los áridos; las características de los conglomerantes; la cuantificación y tamaños de los poros, y también tener en cuenta la relación ligante/áridos, que nos puede permitir una diferenciación del tipo de textura en, por ejemplo: granular, flotante o masiva. Y siguiendo la misma línea, en otros estudios también se ha alcanzado grados satisfactorios de clasificación de los morteros (ALONSO RODRÍGUEZ et al, 2010).

En este trabajo se ha intentado obtener la clasificación más completa de morteros y que englobase todo el material estudiado. En el campo mineralógico, se ha utilizado los valores semicuantitativos obtenidos del análisis de difracción de rayos X. En el aspecto textural, se ha contrastado las particularidades de cada muestra, integrando observaciones hechas a simple vista y con la lupa electrónica. Siempre, teniendo en cuenta los parámetros presentados en los estudios elegidos como base.

Conforme los antecedentes mencionados y reuniendo la información mineralógica y textural de los grupos de cada yacimiento y sus respectivas muestras, se muestra la clasificación de morteros propuesta (Figuras 5.10 – 5.15), que se compone de seis clases de morteros:

Figura 5.10 - Clase I - Mortero de arena gruesa con textura granular

Muestra VR-33	Características: <ul style="list-style-type: none">• Textura y aspecto del mortero granular
---------------	---



- Textura y aspecto del conglomerante homogéneo
- Grano de cuarzo de mayor tamaño
- Poco compacto
- Predominio del color rosáceo (Munsell: 5YR 7/3) sobre el gris rosáceo (Munsell: 7.5YR 7/2), con presencia de marrón quizá por contaminación de la arcilla.
- Áridos en contacto y una relación ligante/áridos en torno a 1/3
- Fragmentos de rocas (pedra caliza y areniscas)
- Granos variables - mayores redondeados y pequeños angulosos.
- Conglomerante principal es calcita (≥ 30 -25%)
- Contenido bajo de arcilla (caolinita)
- Puede tener moscovita, microclina y albita.

Figura 5.11 - Clase II - Mortero de arena gruesa con textura flotante

Muestra CC-05

Características:

- Textura y aspecto del mortero flotante



- Textura y aspecto del conglomerante homogéneo o grumoso
- A veces con algún grano de cuarzo de gran tamaño
- Poco compacto
- Predominio del color rosáceo (Munsell: 7.5YR 8/3) sobre el blanco (Munsell: 10YR 8/1), con rasgos de gris claro y gris rosáceo.
- Áridos con poco contacto y una relación ligante/áridos igual o superior a 1/1.
- Fragmentos de rocas (pedra caliza y areniscas)
- Conglomerante principal es **calcita (≥ 30 -25%)**
- Contenido bajo de arcilla (caolinita)
- Poros más escasos
- Puede tener moscovita, microclina y albita
- Puede tener fragmentos cerámicos

Figura 5.12 - Clase III - Mortero de arena gruesa con cantos

Muestra VR-16

Características:

- Mortero puede ser de textura y aspecto: conglomeraticos (áridos)



- de 2 cm) o flotante (áridos menores y dispersos)
- Textura y aspecto del conglomerante heterogéneo debido al tamaño de los áridos o grumoso
- Áridos gruesos de varios centímetros y formas angulosas.
- Fragmentos están unidos por un mortero rico en cal que contiene áridos más finos
- Poco compacto
- Predominio de los morteros blancos (Munsell: 10YR 8/1) sobre en blanco rosáceo (Munsell: 7.5YR 8/2)
- Áridos finos (30-40%), entre estos cuarzo
- Contenido bajo de arcilla (caolinita)
- Poros más escasos y milimétricos
- Puede tener moscovita y feldespatos
- Puede tener fragmentos cerámicos

Figura 5. 13 - Clase IV - Mortero de cal con algún canto

Muestra B-08

Características:

- Textura y aspecto del mortero masivo, microcristalina, con



granos de arena dispersos que pueden verse más como impurezas del conglomerante que como árido.

- Textura y aspecto del conglomerante heterogéneo y/o grumoso
- Poco compacto
- Predominio de los morteros blancos (Munsell: 10YR 8/1) sobre en blanco rosáceo (Munsell: 7.5YR 8/2) con trazos amarillos y rosáceos
- Relación ligante/áridos es superior a $>5/1$
- Granos de cuarzo pequeños (inferior a 0,5 mm)
- No se observa moscovita o pequeña cantidad, ni feldespatos
- Conglomerante principal es calcita ($>70\%$)
- Contenido bajo de arcilla
- Buena cantidad de poros
- Puede tener fragmentos cerámicos

Figura 5.14 - Clase V - Mortero de arena fina

Muestra VR-18

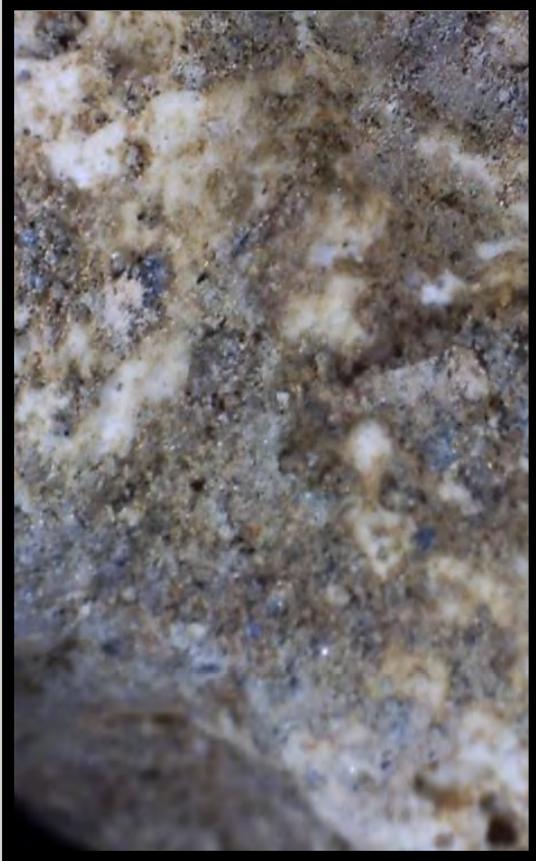


Características:

- Textura y aspecto del mortero finamente granular
- Textura y aspecto del conglomerante homogéneo
- Poco compacto
- Predominio del rosáceo (Munsell: 7.5YR 8/3) sobre el marrón muy claro (Munsell: 10YR 8/2), pasando por el blanco y el gris muy claro.
- Áridos en contacto y una relación ligante/áridos en torno de 1/3
- Áridos – cuarzo de pequeño tamaño (0,5-0,1 mm)
- Conglomerante calcita o no
- Con abundante moscovita
- Puede tener mayor contenido de arcilla
- Poros propios del conglomerante
- Puede tener fragmentos cerámicos

Figura 5. 15 - Clase VI - Mortero de yeso con arena gruesa

Muestra VR-05



Características:

- Textura y aspecto del mortero masivo, con pequeños granos de arena dispersos que pueden verse más como impurezas del conglomerante que como árido.
- Textura y aspecto heterogéneo y/o grumoso
- Ocasionalmente algún fragmento de roca, grano de cuarzo o poro de pequeño tamaño
- Compacto
- Relación ligante/áridos es superior a $>5/1$
- Predominio mortero color blanco (Munsell: 10YR 8/1) sobre el amarillo muy claro (Munsell: 2.5Y 8/2)
- Granos de cuarzo pequeños (inferior a 0,5 mm)
- Bajo contenido de Moscovita, ni feldespatos
- Conglomerante principal es yeso ($>60\%$)
- Bajo o ninguno contenido de arcilla
- Raros fragmentos cerámicos

En las muestras estudiadas predominan los morteros de colores rosáceos, seguidos de los blancos. Son frecuentes los tonos de gris rosáceo y gris claro; con aparente presencia de marrón claro e ínfima de amarillo. La mayoría exhibe similitud de aspecto y domina la textura granular. Los áridos tienen como representante principal el cuarzo, seguidos de los feldespatos y micas. En los análisis de imágenes los cuarzos son de tamaños variados y presentan, en general, una apariencia translúcida con rasgos entre amarillo y ámbar. Se puede ver también un poco de tono rosáceo. La calcita y la moscovita están presentes en 90% de las muestras. En 65% de ellas se encuentran dolomita y albita. Cerca de la mitad posee caolinita y en 28% yeso. Las otras fases minerales se distribuyen de manera excepcional entre las muestras. El conglomerante principal, entre nuestras muestras, se presenta como calcita y en ciertas ocasiones podemos observar el yeso. En las muestras en que la arcilla (caolinita) tiene visibilidad definida, aparece en un contenido bajo, no superior a 7% en la mayoría. En pequeños grupos de muestras se observan trazos de posibles restos vegetales. Se observan variaciones en la relación ligante/árido, que tratándose de morteros antiguos, revelan la inconstancia en las dosificaciones y un imperfecto proceso de mezcla de componentes. La distribución de las clases de morteros tiene coherencia con las características analizadas en el Gráfico 5.34 y la Tabla 5.3.

Gráfico 5.34 - Tipos de morteros

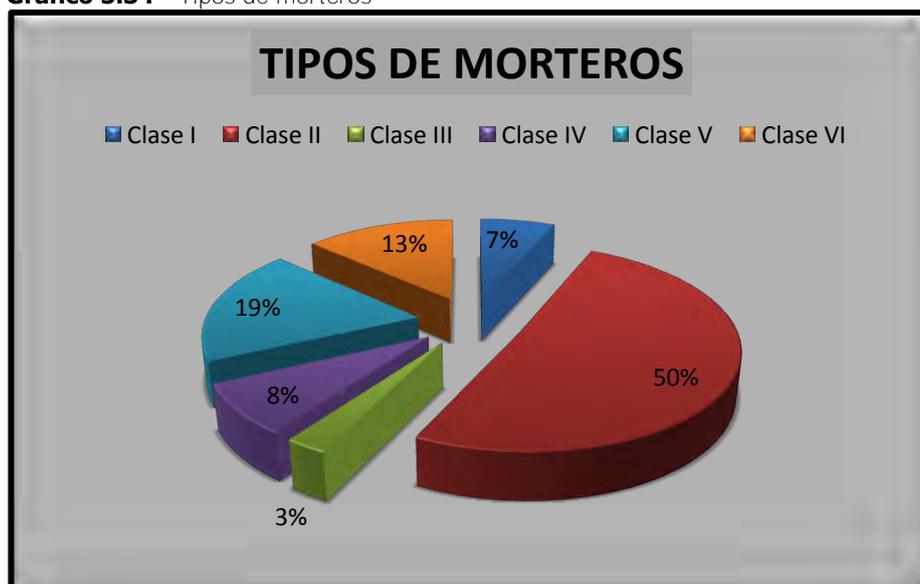
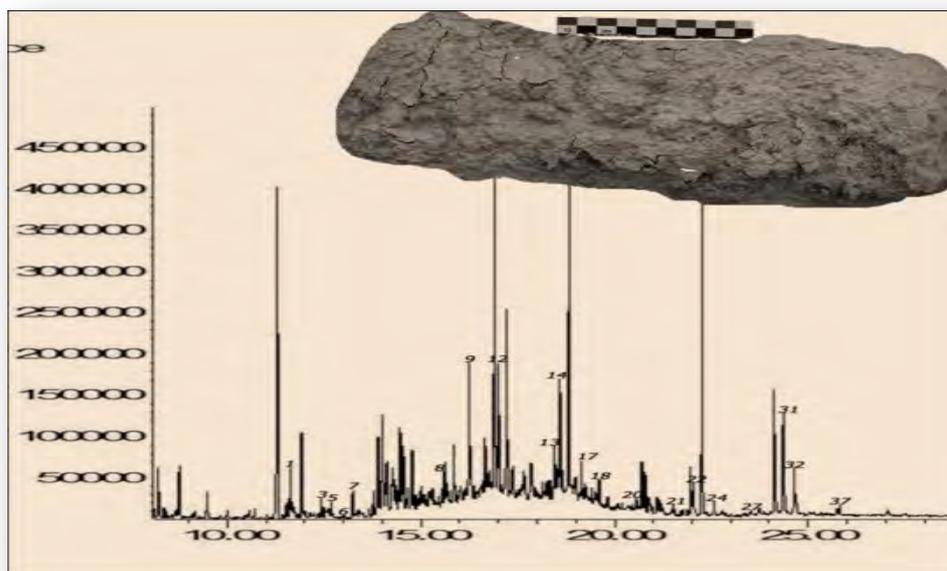


Tabla 5.3 - Clasificación de morteros

Clase	Color	Muestras	Cronología
Clase I			
I-a	Rosáceo	PR27, PR30	S. X-VII a.C.
I-b	Gris rosáceo	PR21	S. X-VII a.C.
I-c	Rosa amarronado	PR28	S. X-VII a.C.
I-d	Marrón muy claro	PR33	S. X-VII a.C.
Clase II			
II-a	Rosáceo	PR13, PR14, PR15	S. X-VII a.C.
		TM5	S. IV a.C.
		TC1, TC3, TC5, TC6, TC8, TC9, TC10, TC12, TC13	S. VI a.C.
		VR10	S. V a.C.
II-b	Blanco	VR7, VR1	S. V a.C.
		VR19	S. IV a.C.
		VR30, VR35, VR36	S. III a.C.
II-c	Marrón muy claro	CC1	S. I a.C.-I d.C.
		TC7, TC11	S. VI a.C.
		VR28, VR39	S. III a.C.
		VR40	S. VI-II a.C.
II-d	Blanco rosáceo	CC4, CC5	S. I a.C.-I d.C.
		PR17	S. X-VII a.C.
		VR27	S. IV a.C.
		VR29	S. III a.C.
II-e	Gris rosáceo	PR23	S. X-VII a.C.
		TM9	S. IV a.C.
		VR4	S. V a.C.
II-f	Gris claro	PR22	S. X-VII a.C.
		VR34	S. III a.C.
II-g	Rosa amarronado	PR16	S. X-VII a.C.
Clase III			
III-a	Blanco	VR16	S. IV a.C.
III-b	Blanco rosáceo	CC2	S. I a.C.-I d.C.
Clase IV			

IV-a	Blanco	VR26	S. IV a.C.
		VR31	S. III a.C.
IV-b	Blanco rosáceo	B8	S. I a.C.-VII d.C.
		CC3	S. I a.C.-I d.C.
IV-c	Rosáceo	PR25	S. X-VII a.C.
		TC14	S. VI a.C.
IV-d	Amarillo rosáceo	TC4	S. VI a.C.
Clase V			
V-a	Rosáceo	TC2	S. VI a.C.
		VR25	S. IV a.C.
		VR37, VR38	S. III a.C.
V-b	Blanco rosáceo	VR1, VR3	S. VI a.C.
		VR20	S. IV a.C.
V-c	Gris rosáceo	VR18	S. IV a.C.
V-d	Marrón muy claro	VR17, VR22	S. IV a.C.
		VR32	S. III a.C.
V-e	Gris claro	VR2	S. VI a.C.
V-f	Blanco	VR12, VR13	S. V a.C.
Clase VI			
VI-a	Blanco	B7	S. I a.C.-VII d.C.
		VR5, VR8	S. V a.C.
		VR21, VR23, VR24	S. IV a.C.
VI-b	Amarillo claro	VR6	S. V a.C.
VI-c	Marrón claro	VR15	S. IV a.C.
VI-d	Rosáceo	VR9	S. V a.C.

Análisis de los aditivos orgánicos



6. ANÁLISIS DE LOS ADITIVOS ORGÁNICOS

6.1. Objetivo

El objetivo principal de este capítulo es el análisis de los aditivos orgánicos existentes en las 18 muestras de adobes y morteros procedentes de yacimientos arqueológicos de las regiones nordeste y sur de la Península Ibérica, con una cronología que comprende desde el Neolítico hasta la Época Ibérica.

La identificación mediante Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (GC-MS) de estos compuestos orgánicos nos permitirá establecer una correlación entre su naturaleza química y la de las sustancias químicas adicionadas a la pasta durante la elaboración de estos materiales de construcción con el fin de mejorar algunas de sus propiedades. De esta forma se podrá profundizar en el conocimiento de la tecnología de fabricación de materiales de construcción de tierra.

6.2. Aplicación de las Técnicas Analíticas actuales en el estudio de los residuos orgánicos en material de construcción de tierra cruda

Investigar el patrimonio histórico de una nación y su pueblo significa evidenciar la identidad cultural de un poblado o región, exhibir el valor real de su cultura contribuyendo así a que otros la conozcan. El concepto de patrimonio histórico y/o cultural se hace cada vez más subjetivo y dinámico, no dependiendo de los objetos o bienes sino de la importancia que la sociedad en general les atribuye en cada momento de la historia. El concepto de **“valor cultural”** determina qué bienes serán protegidos y conservados para la posteridad (IAPH, 2015).

... existe una fuerte exigencia moral y práctica para extraer la máxima información de los restos materiales recuperados durante la investigación arqueológica. [...] Inicialmente, este surgió de una curiosidad para saber de lo que estos objetos estaban hechos, sino que, muy rápidamente, las preguntas más sofisticadas se les pidió - sobre todo en relación con la procedencia...³⁶

³⁶...there is a strong moral and practical requirement to extract the maximum information from the material remains recovered during archaeological investigation. [...] Initially this stemmed out of a curiosity to find out what these objects

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

En base a ese nuevo concepto, las investigaciones del patrimonio histórico emplean las técnicas analíticas actuales, que incorporan los cambios necesarios en las estrategias y protocolos de estudio. Esas técnicas de análisis novedosas requieren de la integración de fuentes de conocimiento especializadas y del trabajo fusionado de grupos interdisciplinarios para lograr una comprensión adecuada de los diferentes tipos de información, así como para establecer un tratamiento eficaz de los objetos. Aunque este enfoque resulta lógico, no siempre lo comprenden o adoptan muchos especialistas, ya sea por desconocimiento de las potencialidades de otras técnicas de análisis, por indecisión a entrar en campos del conocimiento que resultan ajenos a la formación propia o por la falta de vínculos institucionales o relaciones de cooperación que creen el marco adecuado para explotar las ventajas de tal integración (INPC, 2010).

Afortunadamente esa visión interdisciplinaria forma parte del perfil adquirido por el investigador actual y por consiguiente se materializa en un acercamiento más completo a los objetos procedentes de un yacimiento arqueológico. Por ello, el aplicar técnicas analíticas a un fragmento de adobe o mortero empieza a formar parte de la metodología habitual para estudio. Con esta nueva mirada, estos materiales arqueológicos demuestran que también están llenos de los conocimientos y costumbres de los habitantes de dichos asentamientos.

Este es el caso de los aditivos orgánicos en las pastas de adobes y morteros procedentes de los yacimientos aquí investigados. A partir de su análisis podremos confirmar el uso de aditivos de origen animal y/o vegetal en la fabricación de estos materiales, trazando quizá una nueva perspectiva tecnológica sobre el material de construcción de tierra cruda.

Con intención de aclarar qué es el **“aditivo” en el conjunto de los materiales** investigados es necesario una definición más precisa.

Técnicamente, el mortero es un material compuesto de aglomerantes con capacidad ligante (limos y arcillas, yeso o cal), agregados o áridos (arena), aditivos (orgánicos o inorgánicos) y agua que, mezclados adecuadamente, dan como resultado una pasta empleada como material de construcción. Las mezclas aunque sean ricas en aglomerante son de difícil manejo en estado fresco y pueden presentar fisuras cuando secan, debido a la contracción natural de los minerales de la arcilla. La adición de aditivos vegetales funcionaría como estabilizador previniendo precisamente estos procesos (RIVERA GROENNOU, 2009).

were made from, but, very quickly, more sophisticated questions were asked – most notably relating to provenance...” POLLARD, A. M. et al. *Analytical Chemistry in Archaeology*. Cambridge University Press, UK, 2007. p. 5.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

El adobe es un amasijo de arcilla, arenay paja. Se puede incrementar su estabilidad añadiendocrin de caballo, heno seco yexcrementos de determinados animales como caballos y vacas, así como tambiénfibras vegetales (ixtle, yute,copra) y aditivos orgánicos como mucilago denopal, estiércol de bovinos y equinos.También se puede añadircarga de componentes pétreos comoyeso, cal y minerales componentes derocas volcánicas (ÁLVAREZ PÉREZ, 2009).

Los trabajos encontrados en la bibliografía confirman que a los morteros y adobes antiguos se les incorporabaaditivos que tenían como objetivo mejorar sus propiedades y cuya naturalezavariaba de acuerdo con su disponibilidad en zonas próximas a la construcción o su empleo. Pueden serorgánicos (aceites, grasas, leche, ceras, sangre, orina, huevos, azúcar, aceite de linaza, zumo de frutas o vegetales, queso, cerveza, arroz, vino, resinas, azafrán, algodón, cabello, excremento, etc.) o inorgánicos (como cenizas volcánicas, puzolanas, cerámica molida, polvo de mármol) (SOUZA et al, 2014; SANTIAGO, 2007a).

VARRÓN (116-27a.c.) habla en su libro **"Rerumrusticarum"** que para conservar semillas, las paredes y el suelo deben estar recubiertas con una capa de masa formada con mármol pulverizado, o al menos arcilla mezcladacon paja de trigo y prensado de bagazo aceitunas (VARRON, 2010; SANTIAGO, 2007b).

Entre los aditivos orgánicos utilizados en materiales constructivos está el aceite de ballena o aceite de la tierra (ELLIS, 1969). Aunque no es un buen aglutinante, tiene una propiedad hidrófuga, siendo utilizado en construcciones cerca del agua o superficies expuestas a lluvia, como por ejemplo las murallas de fortalezas y muelle (COMERLATO, 2012).

Otro aditivo utilizado es la goma de nopal (PÉREZ, 2015). Sus propiedades se han aprovechado para modificar y mejorar las características de algunos materiales empleados en la construcción y sus recubrimientos. Su principal uso ha sido como aditivo en morteros de cal, pues ha demostrado que mejora su plasticidad y propiedades de fraguado, mientras en las construcciones de adobe se han utilizado como consolidante y/o fijativo con buenos resultados (BUCIO, 2008; CÁRDENAS, ARGUELLES y GOYCOOLEA, 1998). Tanto el mucilago como la goma de nopal son sustancias orgánicas constituidas por polisacáridos (galactosa, arabinosa, etc.) además de algunas proteínas. En particular, la goma de nopal exhibe características equivalentes a las de otros exudados vegetales ampliamente utilizados como aglutinantes en materiales de construcción, entre ellos la goma arábica o el tragacanto, y al ser disuelta en agua forma una suspensión fluida con capacidad adhesiva (KERPEL, 2007).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

BEDOLLA ARROYO et al (2009) es más preciso acerca de los aditivos en materiales de construcción. Resalta las funciones de ellos cuando dice que las adiciones con azúcares como miel, azúcar, melazas, jugos de frutas, provocan retardo en el fraguado, asociado a un aumento de la trabajabilidad en las mezclas; los materiales que contienen sustancias oleosas (sangre, leche, huevo, aceites, hidrocarburos, manteca, sebo, resinas) y aromáticas, también retardan el fraguado por su mínima vaporización, pero con el tiempo aumentan la resistencia mecánica y colorean levemente. La presencia de fibras como algodón, pelos, lana, copra, huinumo, paja, plumas, queratina mejoran el comportamiento bajo esfuerzos de tensión y/o flexión; los materiales que se fermentan como orina, cerveza, malta, levadura, cebada, estiércol, taninos, vino provocan micro-poros que mejoran la durabilidad del material en temperaturas y condiciones extremas, algunas adiciones de materiales como arcillas, cenizas, puzolanas, escorias, líticos inducirán resistencia al desgaste mecánico y algunos adhesivos naturales como cola, mucílago, cartílago, caseína mejoran la adherencia entre las mamposterías.

Los romanos, además de la adición en gran escala de arcilla cocida a la cal, obteniendo un mortero con propiedades hidráulicas, también utilizaban albúmina, caseína, urea y aceites para alterar sus características (MARTÍN, 1996).

Los tratados antiguos sobre edificaciones y estudios sobre el tema (BANART, 1908; NEUBURGER, 1930) especifican aditivos naturales en la elaboración de materiales constructivos, sobretodo morteros según los usos en que se van a aplicar. Se puede ver que:

... para unir piezas de estatuas, o una piedra con otra, o piedra con madera, es cosa muy buena, y firme el cuajaron, que se hace de cuajada de leche, y cal viva, la que se mezclara de modo, que haga una masa muy acuosa.

...Para que un estanque, u otro grande receptáculo resista a mucha cantidad de agua, se unen las piedras con diversos betunes, compuestos de polvos de piedras de cantería, con aceite de linaza, estopa. La mejor composición [...] es la siguiente: un cuartillo de polvo de piedra de cantería, ocho cuartillos de limaduras de hierro, doce cuartillos de cal viva, seis cuartillos de harina de toba, cuatro cuartillos de harina de vidrio, ocho cuartillos de polvo de ladrillo, y cuatro onzas de litargirio; todo esto molido, y pasado por un zedazo de cerdas de caballo, se amasara con tres azumbres de aceite de linaza: después se bate bien, hasta que esté la masa blanda, y se le mezclaran y batirán unos pelos de cabra silvestre, o de algodón (RIEGER, 1763).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

En relación al yeso se puede afirmar que fue en Egipto donde se logró en la Antigüedad el mayor conocimiento sobre él y su utilización por primera vez puro como mortero. Ellos empleaban una mezcla de yeso y trazas orgánicas, como aditivos que podían **formar parte de lareceta (huevos, leche, vino, sangre animal...)** (MARTINET, DELOYE y GOLVIN, 1992).

Los aditivos eran de gran importancia en los materiales constructivos antiguos, principalmente cuando se añadían para proporcionar características especiales que mejoren su uso. Se puede ver en ese relato de VASCONCELOS (1979):

...Hacen diferentes revoques en las paredes: el primero es de tierra, arenay estiércol caballar seco molido que se mezcla con agua arcillosa; este revoque no se raja jamás y mucho menos aún. El segundo que se hace depuro estiércol vacuno fresco sin una mezcla de otro material. El tercero se mezcla con arena caliza de puras conchas quemadas, y polvo de ladrillo.

SANTIAGO (2012) y KANAN (2008) comentan sobre los más variados tipos de materiales usados como aditivos en morteros y entre ellos están los corales y conchas marinas, usados para complementar el nivel de cal necesaria en la pasta para la fabricación de morteros.

Otros autores han realizado estudios comparativos entre los aditivos usados por los antiguos constructores, y sobre los que no hay dudas acerca de su empleo, y los aditivos nuevos, con el propósito de emplear estos últimos en la restauración de obras históricas. Ellos se apoyan en trabajos previos, que atestiguan el empleo, ya desde la Antigüedad, de aditivos orgánicos, desde goma arábiga o tragacanto en Rodas, albúmina de huevo, queratina y caseína como aditivos comunes de los egipcios, hasta el empleo en la época de Vitruvio de jugo de higo, sangre, clara de huevo y pasta de centeno. También a finales del siglo IX se añadió sangre de buey a los morteros de la catedral de Rochester. Alrededor del año 1200 parece comprobado el uso de cerveza, cera de abejas, huevos y la clara, jugos de frutas, gluten, malta, arroz, azúcar y orina (SICKELS, 1981; ÁLVAREZ GALINDO, 1995).

Los estudios químicos utilizando la Cromatografía y Espectrometría de Masas todavía son escasos. DANNELS y KITA (2015) nos presentan en México el análisis de residuos de aglutinantes en 14 muestras de rellenos, adobes, pisos y aplanados, fechadas de 200-400 d.C., donde los resultados mostraron componentes identificados como hidrocarburos, un triglicérido y un azúcar. Todo eso presente en una mezcla de compuestos similar en todas

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

las muestras, con mayor cantidad en los adobes. El azúcar posee características que corresponde a una metilpentosa, como ramnosa o fucosa. Además se ha detectado un éster aromático, probablemente ftalato de dibutilo.

Cabe mencionar también los trabajos de MAGALONI (1998) en la zona maya que en el estudio de materiales constructivos y pictóricos, ha empleado la cromatografía de gases-espectrometría de masas y la cromatografía de líquidos de alta resolución para la identificar posibles aditivos orgánicos utilizados en la fabricación de la cal y de los aglutinantes presentes en las capas pictóricas. En ese estudio la autora demuestra que los mayas, **“empíricamente”, ya sabían que la sustancia que mejores efectos tiene en el aumento de solubilidad de los óxidos de calcio, presente en la cal, son los monosacáridos (azúcares).** Información solamente confirmada por experimentos llevados a cabo por químicos de la industria moderna.

Se puede observar que en concordancia con la literatura vista sobre el tema y la aplicación de técnicas analíticas sobre adiciones orgánicas hechas en pastas de materiales constructivos, se supone una inmensa cantidad de información que se puede obtener sobre el avance de la tecnología en la mampostería en estos yacimientos y sus correlaciones con otros sitios.

6.3. Metodología de análisis

La metodología seguida para la identificación de los aditivos orgánicos mediante GC-MS requiere la toma y tratamiento de las muestras previo a su inyección en el GC.

6.3.1. Toma de muestra

Mediante raspado de la superficie interna de cada fragmento de mortero o adobe se obtiene una muestra (inferior a 2 gramos) que posteriormente debe pulverizarse y homogeneizarse en un mortero. En la Tabla 6.1 se recogen las 18 muestras seleccionadas para este análisis así como el yacimiento del que proceden, cronología y naturaleza de las mismas. Por último, en la Tabla 6.2 se recogen los criterios que se han seguido para la selección de las muestras a analizar.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 6.1 – Descripción de las muestras

Muestra	Yacimiento	Cronología
PR-04MC	Puig Roig	siglo X-VII a.C.
PR-23MC	Puig Roig	siglo X-VII a.C.
TC-08MC	Turo Calvari	siglo VI a.C.
TC-14MC	Turo Calvari	siglo VI a.C.
TM-03MC	Tossal del Moro	siglo IV a.C.
TM-08MC	Tossal del Moro	siglo IV a.C.
C-01MC	Castellons	siglo IX a.C./I a.C.
C-02MC	Castellons	siglo IX a.C./I a.C.
SM-01MC	Sant Miquel	siglo II/I a.C.
SM-03MC	Sant Miquel	siglo II/I a.C.
CC-01MC	Costa Capellans	siglo I a.C./I d.C.
CC-05MC	Costa Capellans	siglo I a.C./I d.C.
B-05MC	Barrugat	siglo I a.C./VII d.C.
B-08MC	Barrugat	siglo I a.C./VII d.C.
VR-03MC	Villaricos	siglo VI a.C./II a.C.
VR-08MC	Villaricos	siglo VI a.C./II a.C.
BAZ001-02MC	Cerro Cepero	siglo II a.C.
BAZ001-03MC	Cerro Cepero	siglo II a.C.

Tabla 6.2 – Criterios para la selección de las muestras

Muestra	Criterios de elección
PR-04MC	Adobe quemado y presencia visible de poros que caracterizan el posible uso de material orgánico en la pasta.
PR-23MC	Mortero poco compacto que sugiere utilización de material orgánico.
TC-08MC	Mortero poco compacto que sugiere utilización de material orgánico.
TC-14MC	Mortero compacto que sugiere ausencia de material orgánico.
TM-03MC	Adobe con presencia visible de poros que caracterizan el posible uso de material orgánico en la pasta.
TM-08MC	Mortero compacto que sugiere ausencia de material orgánico.
C-01MC	Adobe poco compacto con presencia visible de poros que caracterizan el posible uso de material orgánico en la pasta.
C-02MC	Adobe poco compacto con presencia no visible de poros. Posible uso de material orgánico en la pasta.
SM-01MC	Adobe con presencia visible de poros que caracterizan el posible uso de material orgánico en la pasta.
SM-03MC	Adobe con presencia visible de poros que caracterizan el posible uso de material orgánico en la pasta. Material orgánico visible.
CC-01MC	Estuco con base de preparación (color verde).
CC-05MC	Estuco con base de preparación y capa de pintura (color rojo).
B-05MC	Adobe con presencia visible de poros que caracterizan el posible uso de material orgánico en la pasta.
B-08MC	Fragmento de pared con pintura romana.
VR-03MC	Mortero compacto que sugiere ausencia de material orgánico.
VR-08MC	Mortero poco compacto que sugiere presencia de material orgánico.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

BAZ001-02MC	Adobe compacto con presencia no visible de poros. Posible uso de material orgánico en la pasta.
BAZ001-03MC	Adobe poco compacto con presencia no visible de poros. Posible uso de material orgánico en la pasta.

6.3.2. Extracción de los aditivos orgánicos

Para la extracción de los componentes orgánicos existentes en la muestra se someten a una metodología desarrollada inicialmente por Evershed en la Universidad de Bristol (EVERSHED, HERON y GOAD, 1990), y modificada posteriormente (MANZANO et al, 2011, 2015). Para este estudio la mezcla extractante propuesta por Evershed (cloroformo:metanol, 2:1 (v/v) se modifica por diclorometano:metanol (2:1 (v/v)). Se emplean 15 ml de esta mezcla como disolvente de extracción durante 15 minutos en un baño de ultrasonidos. Las fases líquida y sólida se separan mediante centrifugación a 3500 rpm durante 5 minutos. El proceso de extracción y centrifugación se ha repetido dos veces, mezclándose los sobrenadantes obtenidos. Se transfiere esta mezcla a continuación a un pequeño vial y se evapora el disolvente en corriente de nitrógeno para obtener el extracto lipídico total (TLE). El extracto lipídico total se someterá, previamente al análisis cromatográfico, al proceso de derivatización que se describe a continuación.

6.3.3. Derivatización de los lípidos

Dos importantes requisitos que deben cumplir los analitos de una muestra antes de ser procesada mediante cromatografía de gases, son:

- Ser volátil a las temperaturas de trabajo ($T^a < 350^{\circ}\text{C}$), ya que la técnica cromatográfica se fundamenta en la diferente volatilidad de los compuestos que la conforman, y su capacidad para ser adsorbidos por la fase estacionaria.
- Ser estables térmicamente.

Puesto que algunos analitos no cumplen estos requisitos, deben someterse a una reacción de derivatización, con la que se mejoran las características de detección del analito e incluso puede proporcionar evidencia adicional de la identidad de un compuesto, y ser utilizada para acortar o alargar el tiempo de retención.

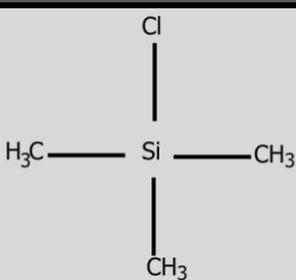
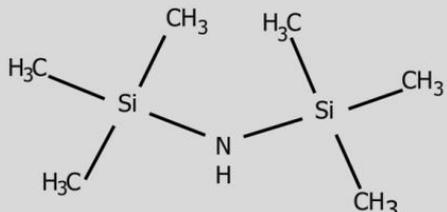
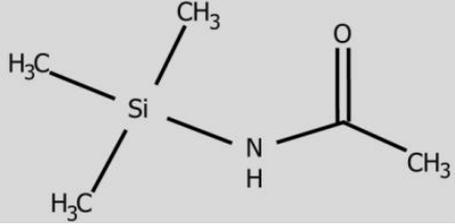
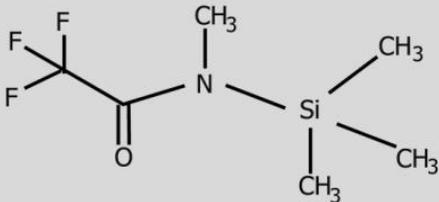
Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

En el caso de los compuestos lipídicos se emplean habitualmente dos tipos de reacciones: siliación y esterificación.

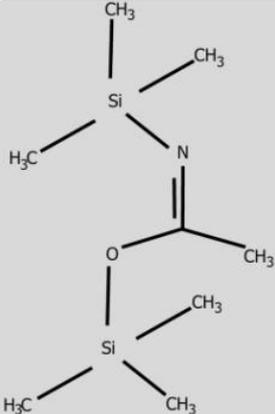
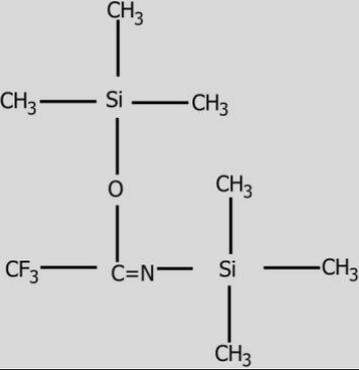
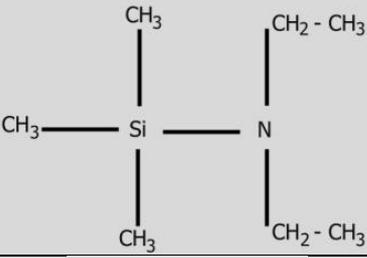
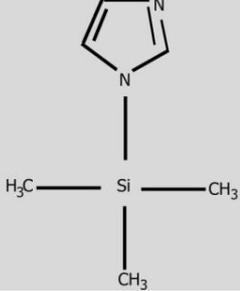
6.3.3.1. Metilsilil derivados

La reacción de siliación se basa en la introducción de un grupo sililo en una molécula de ácido graso, en general en sustitución de un hidrógeno activo. Los reactivos que se emplean para este fin son derivados del trimetilsililo (TMS), $-\text{Si}(\text{CH}_3)_3$. En la siguiente Tabla 6.3 se muestran los reactivos TMS más utilizados.

Tabla 6.3 - Derivados del trimetilsilano más utilizados en reacciones de siliación

Estructura	Nombre
	Clorotrimetilsilano (TMCS)
	Hexametildisilazano (HMDS)
	N-(trimetilsilil)acetamida (MSTA)
	N-Metil-N-trimetilsilil-trifluoroacetamida (MSTFA)

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

	<p>N,O-Bis(trimetilsilil)- acetamida (BSA)</p>
	<p>N,O-Bis(trimetilsilil)- trifluoroacetamida (BSTFA)</p>
	<p>N-trimetilsilildietilamina (TMSDEA)</p>
	<p>N-(trimetilsilil)-imidazol (TMSIM)</p>

Por orden de capacidad los grupos sililo están:

TMSIM>BSTFA>MSTFA>TMSDEA>MSTA>TMCS>HMDS

Efectos importantes causados por la sustitución del Hidrógeno activo por el grupo

Sililo:

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

- A- Reduce su polaridad.
- B- Reduce la probabilidad de formación de enlaces de Hidrógeno intermoleculares.
- C- Aumenta la volatilidad y la estabilidad térmica.

Ventajas de esta reacción:

- A- Mayor calidad analítica de los picos cromatográficos, obtención de picos más simétricos.
- B- Mayor resolución de los picos cromatográficos, mejor separación.
- C- Reducción de interacciones indeseables con la columna.
- D- Reducción de los fenómenos de adsorción irreversible.

Los grupos que forman derivados Trimetilsililo (TMS) se recogen en la siguiente Tabla 6.4:

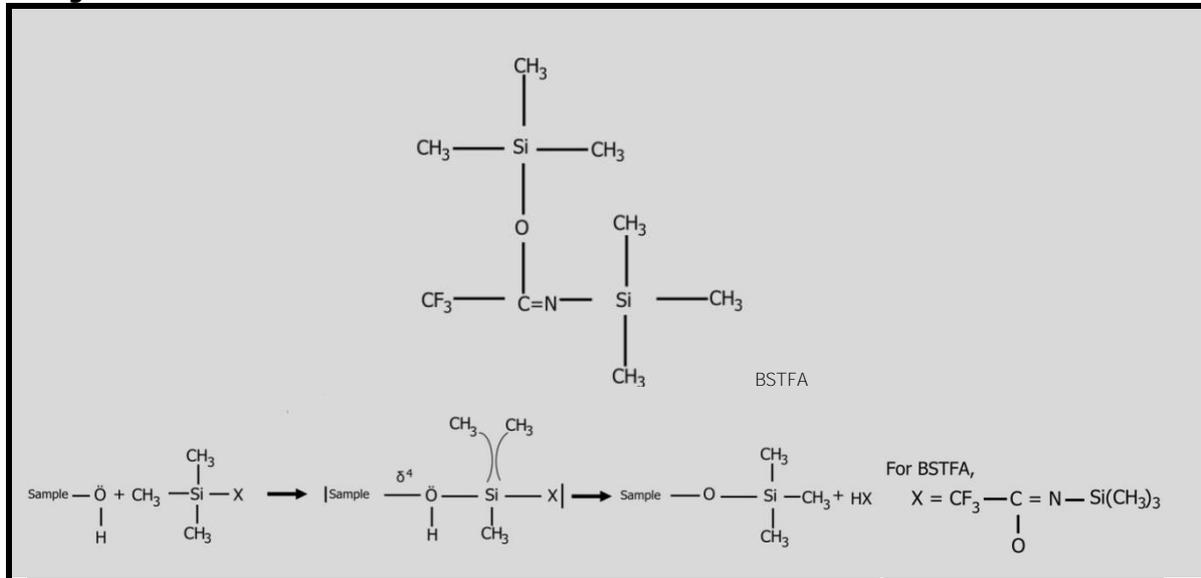
Tabla 6.4 – Grupos funcionales que forman derivados trimetilsililo

Grupos funcionales	
NH → NTMS	SH → STMS
NH ₂ → NHTMS; N(TMS) ₂	SOH → SOTMS
OH → OTMS	CH ₂ CO → -CH=COTMS
POH → POTMS	NOH → NOTMS
CONH ₂ → CONHTMS	COOH → COOTMS
BOH → BOTMS	

La capacidad de aceptación del grupo sililo por estos grupos funcionales sigue el siguiente orden:

Alcohol > Fenol > Ácido Carboxílico > Amina > Amida.

Figura 6.1—Reacción de sililación con BSTFA



De acuerdo con la bibliografía consultada el procedimiento operatorio más utilizado es el tratamiento de una alícuota del extracto lipídico total (20 µl; a 60°C; durante 20 min) con BSTFA (N,O-bis(trimethylsilyl)trifluoroacetamida) que contiene 1% v/v de trimetilclorosilano. La muestra ya derivatizada se diluye con ciclohexano y se analiza por Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas (CG-MS) (EVERSHED, 1990).

6.3.3.2. Metilésteres derivados

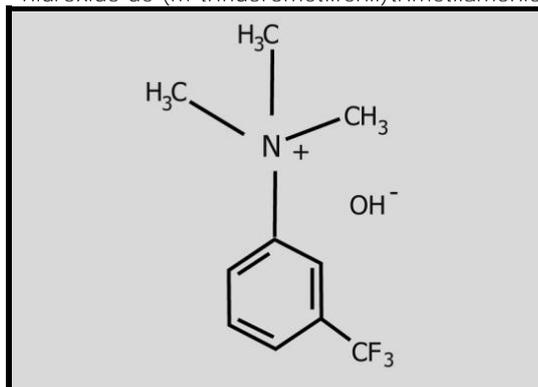
El proceso de metilación libera los ácidos grasos todavía enlazados a la molécula de glicerol y los convierte, junto con los ácidos grasos libres en los derivados ésteres metílicos (FAMES) reemplazando el hidrógeno (H-) del grupo carboxilo por un grupo metilo (CH₃-). Estos ésteres son más volátiles y más estables que los correspondientes ácidos grasos y por tanto más adecuados para el análisis por cromatografía de gases.

El proceso de derivatización de los residuos lipídicos más comúnmente usado se basa en el tratamiento con trifluoruro de boro y metanol en medio básico (NaOH) del extracto lipídico (CONDAMIN, 1976).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

El reactivo seleccionado para esta etapa ha sido el hidróxido de m-trifluorometilfeniltrimetilamonio (TMTFAH), también llamado MethPrep II, gracias a su probada eficacia en la reacción de esterificación de los ácidos grasos libres y también de los triglicéridos transformándolos en ambos casos en los correspondientes ésteres, que son volátiles y, por tanto, detectables mediante GC-MS (DRECHSEL, 2003).

Figura 6.2 - hidróxido de (m-trifluorometilfenil)trimetilamonio (TMTFAH)



TMTFAH permite un eficiente y limpio proceso de derivación a la temperatura usual de inyección de un cromatógrafo de gases, con mínimas reacciones colaterales. Una ventaja a destacar del empleo del TMTFAH es que puede realizar metilaciones tanto con los ácidos libres como con los ésteres unidos a glicéridos sin necesidad de una hidrólisis previa del éster (transesterificación), originando en ambos casos los derivados más volátiles: **ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME's)**.

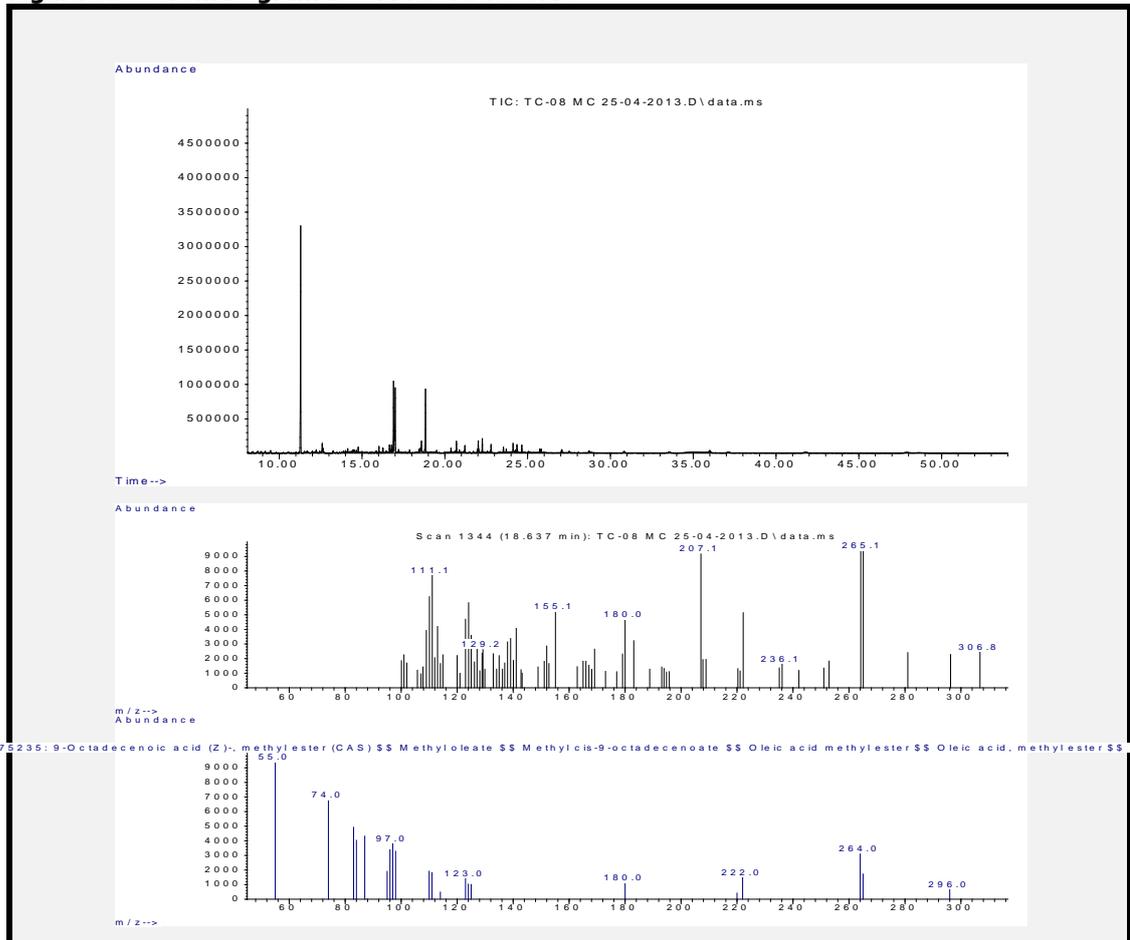
El protocolo para la reacción de derivatización comienza con la evaporación del disolvente de extracción hasta casi sequedad mediante corriente de N_2 a $60^\circ C$. A continuación se adicionan 0,5mL de Tolueno como disolvente de reacción y 37,5 μ L de MethPrep II como agente derivatizante y se mantienen durante 30 minutos en un baño de ultrasonidos. Se trasvasa a un vial de inyección cromatográfico para su posterior determinación mediante GC-MS. La muestra es volatilizada en el inyector, pasa a la columna, alojada en el horno y que proporciona un gradiente de temperatura que va volatilizando los compuestos de la muestra según su temperatura de volatilización. El gas portador arrastra los componentes ya en estado gaseoso sin interactuar con ellos. Los compuestos separados recorren la columna llegando al detector, en este caso un espectrómetro de masas que aumenta exponencialmente las posibilidades de la técnica.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

6.4. Cromatograma y espectro de masa

Cada compuesto de la muestra proporciona una señal en el cromatograma caracterizada por su t_R y un espectro de masas correspondiente. A continuación (Figura 6.3) se observa un cromatograma con diferentes picos. Se toma como ejemplo la muestra TC-08MC y el compuesto que eluye a $t_R = 18.637$ min. A ese pico cromatográfico le corresponde un espectro de masas que se compara con la espectroteca disponible en el equipo (Wiley 275), y que se muestra en la misma figura 6.3. Se identifica el compuesto elegido ya que ese perfil de espectro de masas se encuentra en la espectroteca, concluyendo que se trata del ácido 9-octadecenoico (Z) con un 90% de probabilidad.

Figura 6.3– Cromatogramas – Muestra TC-8MC

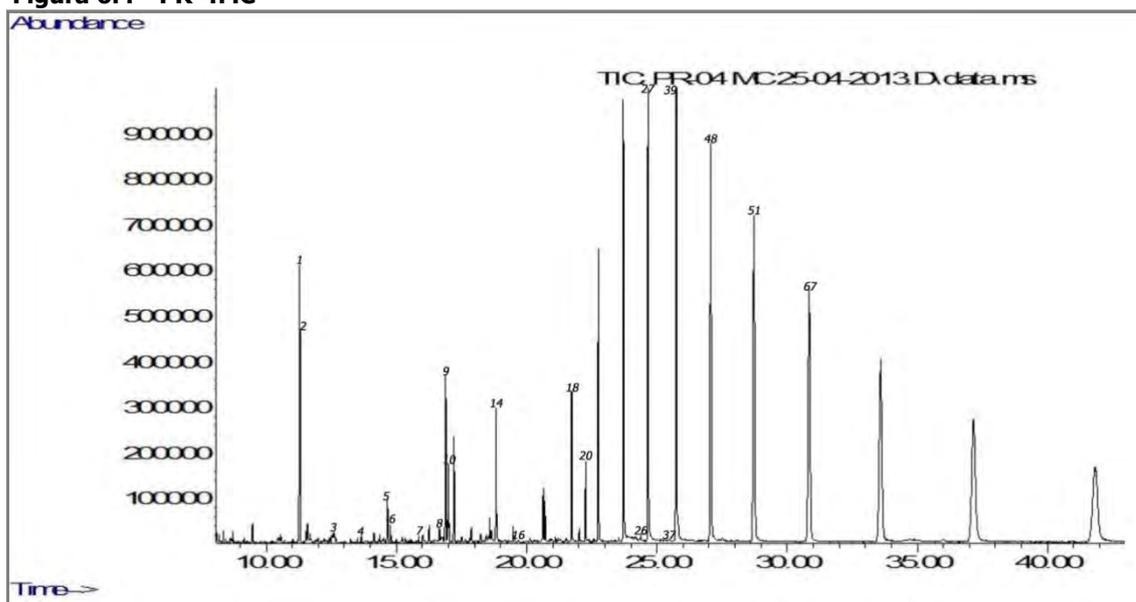


Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

6.5. Resultados

Para las 18 muestras estudiadas los resultados se exponen de la siguiente forma. En primer lugar, se presenta el cromatograma resultante del análisis cromatográfico de cada muestra con los picos identificados con la numeración correspondiente (Figuras 6.4 – 6.21) y a continuación una tabla de seis columnas (Tablas 6.5 – 6.22). En la primera columna (\neq) se indica el número que relaciona cada compuesto con su señal en el cromatograma, en la segunda el tiempo de Retención (t_R) al que aparece la señal, la tercera columna corresponde a la relación m/z de los fragmentos más abundantes de cada compuesto, la cuarta y quinta columna indican el compuesto identificado perteneciente a cada señal así como el nombre común, en los casos donde sea posible, seguido de número de átomos de Carbono: número de insaturaciones, en el caso de los ácidos grasos. Solo se recogen en la tabla aquellos compuestos que han podido ser identificados con un porcentaje de asignación (Qual%) superior al 80%, por lo que, con la librería disponible, algunos de los picos han quedado sin identificar.

Figura 6.4 - PR-4MC

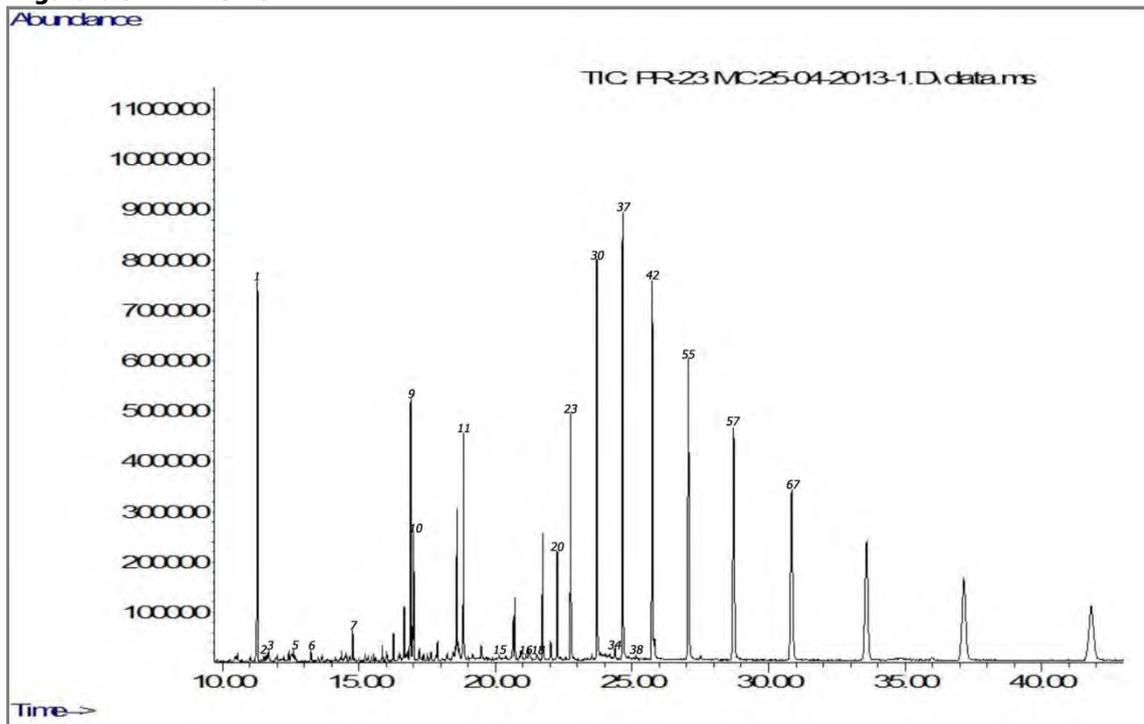


Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 6.5 - PR-4MC

#	t _R	m/z	compuesto identificado	nombre común
3	12596	175.9, 207.0, 263.1	1,3-di-tert-butyl-2,4-diisobutyl-1,3,2,4-diazadiboretidin	
5	14646	101.0, 163.0, 205.9	methyl butyl phthalate	ftalato (derivado)
6	14772	143.0, 199.1, 242.2	methyltetradecanoate / normal chain	acmirístico C14:0
7	15856	143.0, 213.2, 296.2	methylpentadecanoate / normal chain	acpentadecanoico C15:0 (cadena normal)
9	16893	143.1, 227.2, 270.2	Hexadecanoicacid	acpalmítico C16:0
10	16964	147.0, 219.1, 277.1	methyl-3-(3,5-ditertbutyl-4-hydroxyphenyl) propionate	
12	18582	111.0, 180.0, 264.2	9-octadecenoic acid (Z)-, oleicacid	acoleico C18:1(Z)
14	18817	143.1, 255.2, 298.2	octadecanoicacid, methylester	acesteárico
19	22266	149.0, 167.0, 279.2	bis(2-ethylhexyl) phthalate	ftalato (derivado)
25	24355	147.1, 206.9, 280.9	tranylcypromine, pentafluorobenzoylester	
27	24622	147.0, 221.1, 355.0	bistrimethylsilyln -acetyleicosasphinga-4,11-dienine	
34	25258	190.9, 207.0, 281.1	gibberellin A3	giberelina A3
65	30278	206.9, 280.8, 355.0	4-hydroxyphenyllactic acid, ethyl ester, di-tms	

Figura 6.5 - PR-23MC



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 6.6 – PR23MC

#	t _R	m/z	compuesto identificado	nombre común
9	16893	143.1, 227.2, 270.2	hexadecanoicacid, methylester	acpalmítico C16:0
10	16963	147.0, 219.1, 277.2	methyl-3-(3,5-ditertbutyl-4-hydroxyphenyl) propionate	
11	18825	143.1, 255.2, 298.3	octadecanoicacid, methylester	acesteárico C18:0
20	22266	149.0, 167.0, 279.2	bis(2-ethylhexyl) phthalate	ftalato (derivado)
37	24834	137.0, 207.0, 280.8	gibberellin A3	giberelina A3
46	26264	207.0, 281.0	tranilcypromine, pentafluorobenzoylester	

Figura 6.6 - C-1MC

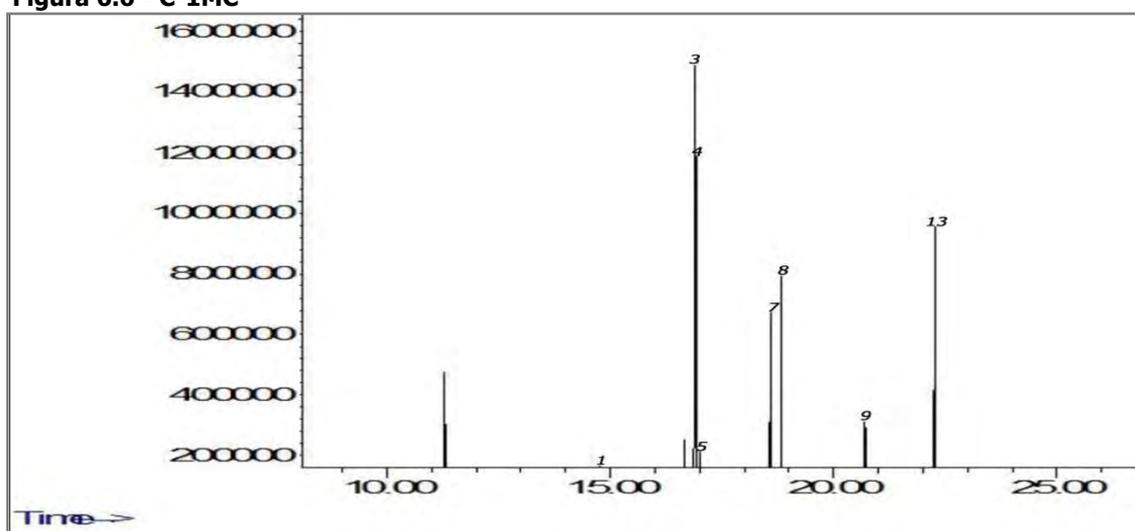


Tabla 6.7 - C-1MC

#	t _R	m/z	compuesto identificado	nombre común
3	16893	143.1, 227.2, 270.2	hexadecanoicacid, palmiticacid	acpalmítico C16:0
4	16963	147.0, 219.1, 277.2	methyl-3-(3,5-ditertbutyl-4-hydroxyphenyl) propionate	
5	17003	161.1, 187.1, 291.2	2,7,8-trimethoxy-3-methyl-5,6-methylenedioxy-naphtho-1,4-quinone	
7	18825	143.1, 255.2, 298.3	octadecanoicacid, Stearicacid	acesteárico C18:0
8	18998	128.0, 289.2, 305.2	benzo[b]cyclopropafluorone	
13	22266	149.0, 167.0, 279.2	bis(2-ethylhexyl) phthalate	ftalato (derivado)

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 6.7 - C-2-MC

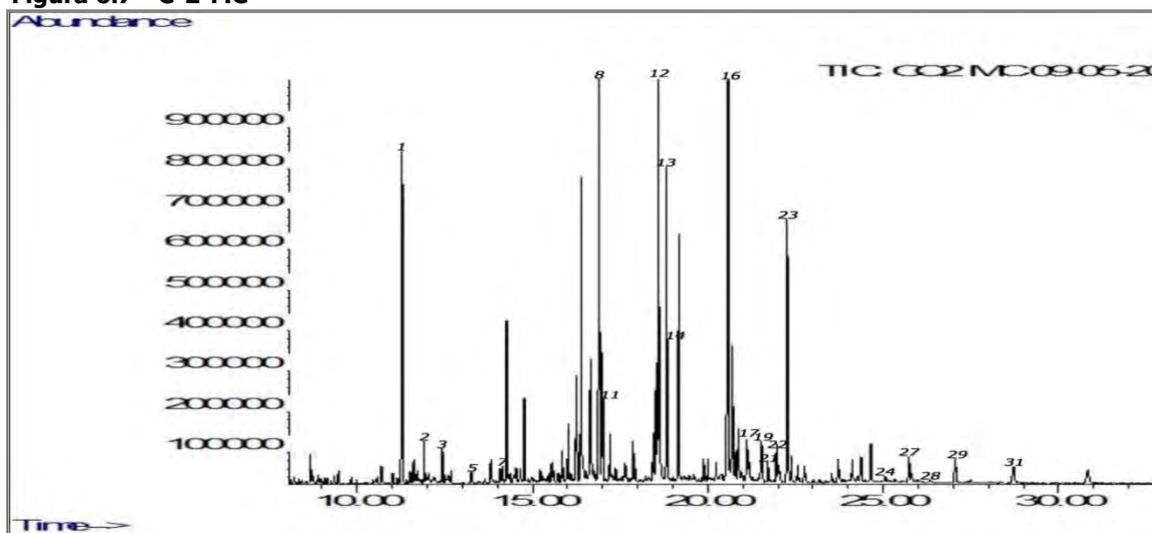


Tabla 6.8 - C-2-MC

#	t _R	m/z	compuesto identificado	nombre común
1	11284	115.0, 205.1, 220.1	methyl 4,4,7-trimethyl-4,7-dihydroindan-6-carboxylate	
2	11920	125.0, 157.0, 189.0	trimethyl 2-methoxypropane-1,2,3-tricarboxylate	
3	12431	162.9, 182.9, 198.0	1-ethyl-4,5,8-trimethylnaphthalene	
7	14080	106.9, 152.0, 208.0	butyl 4-methoxybenzoate	
8	16885	143.1, 227.2, 270.2	hexadecanoicacid, methylester	acpalmítico C16:0
10	16956	147.0, 219.1, 277.1	methyl-3-(3,5-ditertbutyl-4-hydroxyphenyl) propionate	
11	16995	187.1, 233.1, 291.2	2,7,8-trimethoxy-3-methyl-5,6-methylenedioxy-naphtho-1,4-quinone	
12	18825	143.0, 255.2, 298.2	heptadecanoicacid, 16-methyl-, methylester	ac 16-metilheptadecanoico
13	18833	143.1, 255.2, 298.2	octadecanoicacid, methylester	acesteárico C18:0
15	18998	140.9, 289.2, 304.1	benzo[b]cyclopropafluorone	
20	21559	144.7, 206.9, 281.0	gibberellin A3	giberelina A3
28	26335	206.9, 281.0, 354.9	phenol, 2,2'-[(1-methyl-1,2-ethanediyl)bis(nitrilomethylidyl)]-	

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 6.8 - TC-8MC

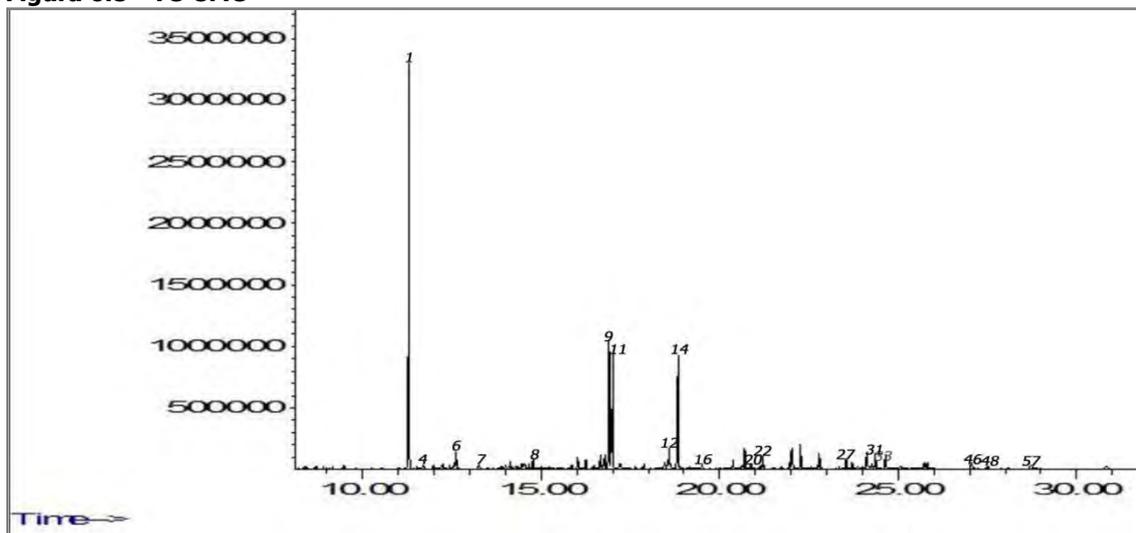


Tabla 6.9 - TC-8MC

#	t _R	m/z	compuesto identificado	nombre común
1	11276	115.0, 205.1, 220.1	3-(2,2-dimethylpropylidene)bicyclo[3.3.1]nonane-2,4-dione	
6	12643	179.1, 206.9, 319.0	2,3-diphenyl-5-methyl-6H-thieno[3,2-d]-1,3-oxazin-6-one	
9	16900	143.1, 227.2, 270.2	hexadecanoic acid, methyl ester	acpalmitico C16:0
10	16963	147.0, 219.1, 277.2	methyl-3-(3,5-ditertbutyl-4-hydroxyphenyl) propionate	
11	17003	161.0, 187.1, 291.2	2,7,8-trimethoxy-3-methyl-5,6-methylenedioxy naphtho-1,4-quinone	
12	18637	111.1, 207.1, 265.1	9-octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	acoleico C18:1 (Z)
13	18825	143.1, 255.2, 298.3	octadecanoic acid, methyl ester	acesteárico C18:0
26	23153	132.9, 207.0, 281.1	translucypramine, pentafluorobenzoyl ester	
27	23538	113.1, 141.2, 414.2	2-n-heptadecanyl-4,4-dimethyloxazoline	
56	28503	207.0, 280.9, 354.9	gibberellin A3	giberelina A3

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 6.9 - TC-14MC

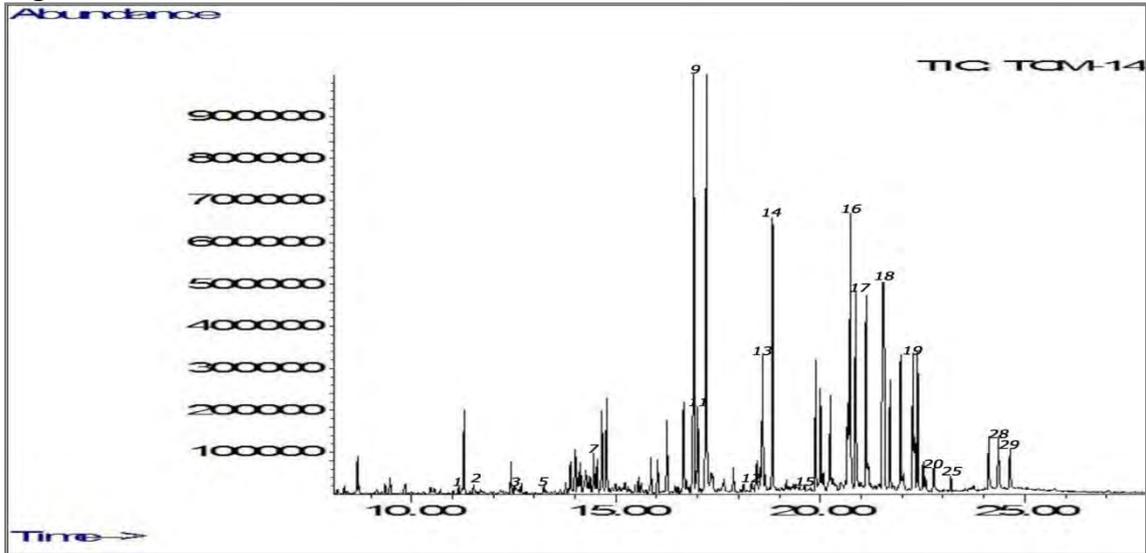


Tabla 6.10 - TC-14MC

#	t _R	m/z	compuesto identificado	nombre común
2	11528	132.9, 163.0, 207.0	methylphthalate	ftalato (derivado)
9	16893	143.1, 227.2, 270.2	hexadecanoicacid, methylester	acpalmitico C16:0
10	16963	147.1, 219.1, 277.1	methyl ester of 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl)-propionic acid	
14	18825	143.0, 255.2, 298.2	heptadecanoicacid, 16-methyl-, methylester	ac 16-metilheptadecanoico
19	22258	149.0, 167.0, 279.2	bis(2-ethylhexyl) phthalate	ftalato (derivado)

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 6.10 - TM-3MC

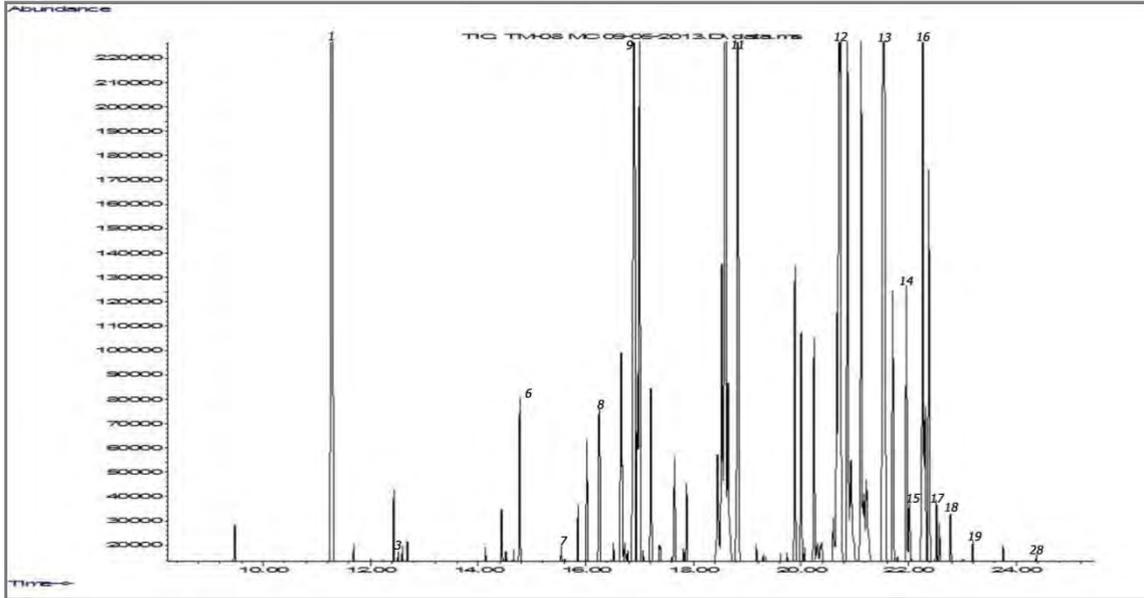


Tabla 6.11 - TM-3MC

#	t _R	m/z	compuesto identificado	nombre común
2	11528	132.9, 163.0, 207.0	methylphthalate	ftalato (derivado)
8	16248	103.9, 149.0, 223.1	isobutylphthalate	ftalato (derivado)
9	16893	143.1, 227.2, 270.2	hexadecanoicacid, methylester	acpalmítico C16:0
11	18825	143.0, 255.2, 298.2	heptadecanoicacid, 16-methyl-, methylester	ac 16-metilheptadecanoico
16	22258	149.0, 167.0, 279.2	bis(2-ethylhexyl) phthalate	ftalato (derivado)
17	22423	207.0, 236.7, 281.0	gibberellin A3	giberelina A3

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 6.11 - TM-8MC

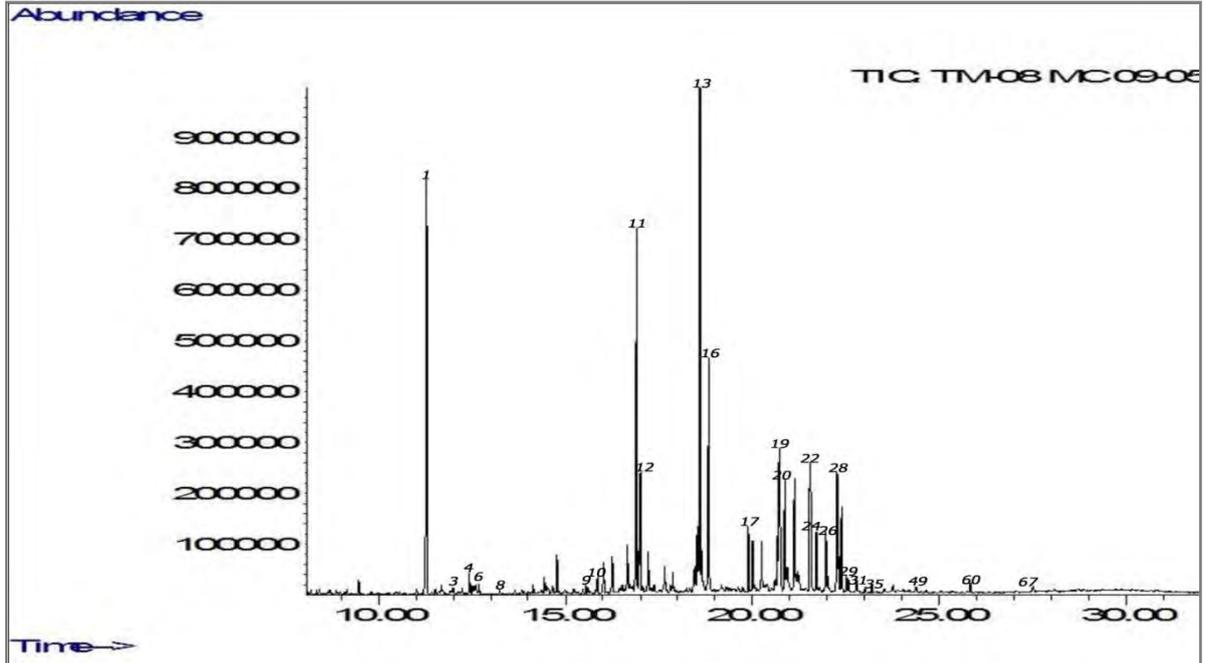


Tabla 6.12 - TM-8MC

#	t _R	m/z	compuesto identificado	nombre común
3	11999	113.1, 155.1, 183.1	triacontane	triacontano
11	16893	143.1, 227.2, 270.2	hexadecanoicacid, methylester	acpalmitico C16:0
12	16955	147.0, 219.1, 277.1	methyl ester of 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl)-propionic acid	
13	18519	109.1, 263.2, 294.3	8,11-octadecadienoic acid, methylester	ac 8,11-octadecadienoico (C18:2)
14	18542	191.0, 207.0, 267.1	4' methyl-2 phenylindole	
16	18825	143.1, 255.2, 298.2	octadecanoicacid, methylester	acesteárico C18:0
23	21559	144.7, 206.9, 281.0	gibberellin A3	giberelina A3
40	23562	206.9, 280.8, 355.1	tranylcypromine, pentafluorobenzoylester	

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 6.12 - SM-1MC

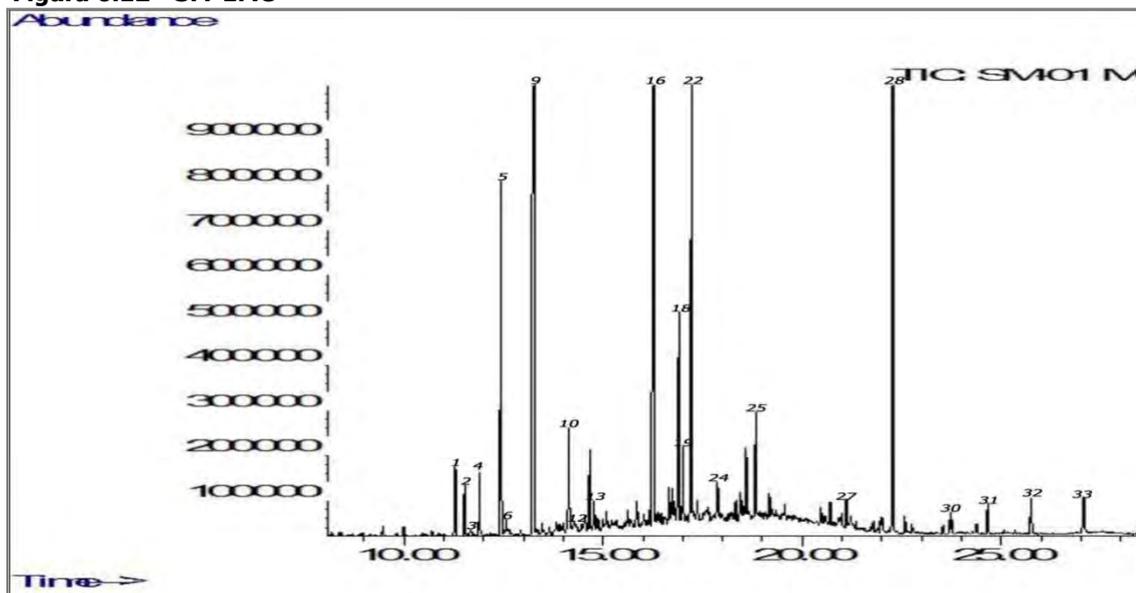


Tabla 6.13 - SM-1MC

#	t _R	m/z	compuesto identificado	nombre común
2	11520	133.0, 163.0, 194.0	methylphthalate	ftalato (derivado)
5	12423	106.0, 136.0, 163.0	ethylmethylphthalate	ftalato (derivado)
8	13232	105.0, 149.0, 177.0	ethylphthalate	ftalato (derivado)
10	14136	104.0, 163.0, 181.0	methyl 2-ethylhexyl phthalate	ftalato (derivado)
11	14269	133.0, 161.0, 192.0	cinnamic acid, p-methoxy-, methyl ester	
13	14772	143.1, 199.2, 242.2	tetradecanoic acid, methyl ester	acmirístico C14:0
16	16249	104.0, 149.0, 223.1	1,2-benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	ftalato (derivado)
17	16445	146.9, 191.0, 222.0	methyl 3,4-dimethoxycinnamate	
18	16893	143.1, 227.2, 270.2	hexadecanoic acid, methyl ester	acpalmitico C16:0
19	16963	147.1, 219.1, 277.1	methyl ester of 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl)-propionic acid	
20	17003	161.1, 187.1, 291.2	endo-3,4-isopropylidenedioxy-exo-2-phenylthio-6-oxabicyclo[3.2.1]octan-7-one	
21	17207	104.0, 149.0, 223.1	butylphthalate	ftalato (derivado)
22	17215	104.0, 149.0, 223.1	n-butyl isobutyl phthalate	ftalato (derivado)
23	17749	221.0, 237.0, 252.1	3,4,5-trimethoxycinnamic acid methyl ester	
25	18825	143.1, 255.2, 298.2	octadecanoic acid, methyl ester	acesteárico C18:0
27	21111	101.0, 129.0, 241.1	hexanedioic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	
28	22266	104.0, 149.0, 279.2	bis(2-ethylhexyl) phthalate	ftalato (derivado)

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 6.13 - SM-3MC

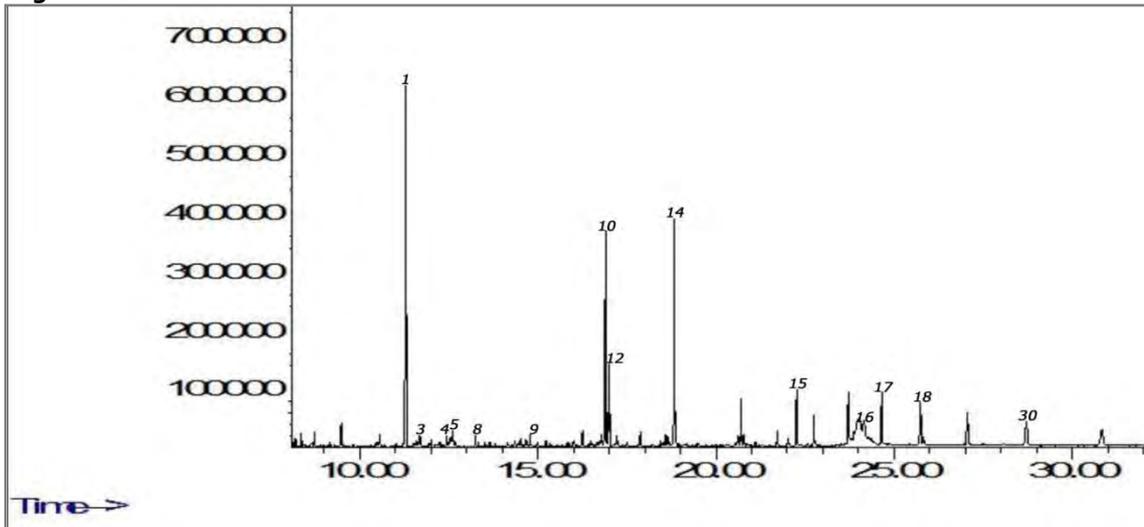
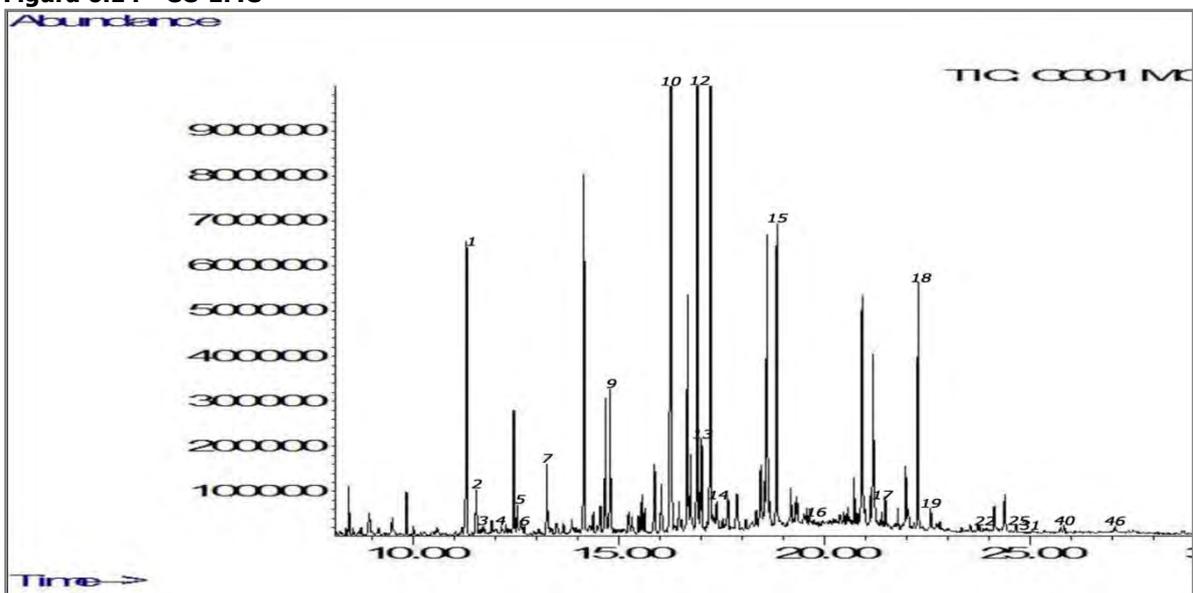


Tabla 6.14 - SM-3MC

#	t _R	m/z	compuesto identificado	nombre común
4	12462	206.9, 235.1, 250.0	2,3-dihydro-5,5-dimethyl-5H-benzo[b]pyrano[3,4-b][1,4]dithiin	
10	16893	143.1, 227.2, 270.2	hexadecanoicacid, methylester	acpalmitico C16:0
11	16963	147.0, 219.1, 277.2	methyl-3-(3,5-ditertbutyl-4-hydroxyphenyl) propionate	
14	18825	143.1, 255.2, 298.3	octadecanoicacid, methylester	acesteárico C18:0
15	22266	149.0, 167.0, 279.2	bis(2-ethylhexyl) phthalate	ftalato (derivado)

Figura 6.14 - CC-1MC



Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 6.15 - CC-1MC

#	t _R	m/z	compuesto identificado	nombre común
4	12140	167.0, 182.0, 206.9	2,3'-dimethylbiphenyl	
10	16264	104.0, 149.0, 223.0	isobutylphthalate	ftalato (derivado)
11	16893	143.1, 227.2, 270.2	hexadecanoicacid, methylester	acpalmítico C16:0
12	16963	147.0, 219.1, 277.2	methyl-3-(3,5-ditertbutyl-4-hydroxyphenyl) propionate	
15	18825	143.1, 255.2, 298.3	octadecanoicacid, methylester	acesteárico C18:0
18	22266	149.0, 167.0, 279.2	bis(2-ethylhexyl) phthalate	ftalato (derivado)
32	25156	147.1, 207.0, 280.9	Phenol, 2,2'-[(1-methyl-1,2-ethanediyl)bis(nitrilomethylidyne)]	
33	25258	190.9, 207.0, 281.1	gibberellin A3	giberelina A3
36	25392	207.0, 280.9	tranylcypromine, pentafluorobenzoylester	

Figura 6.15 - CC-5MC

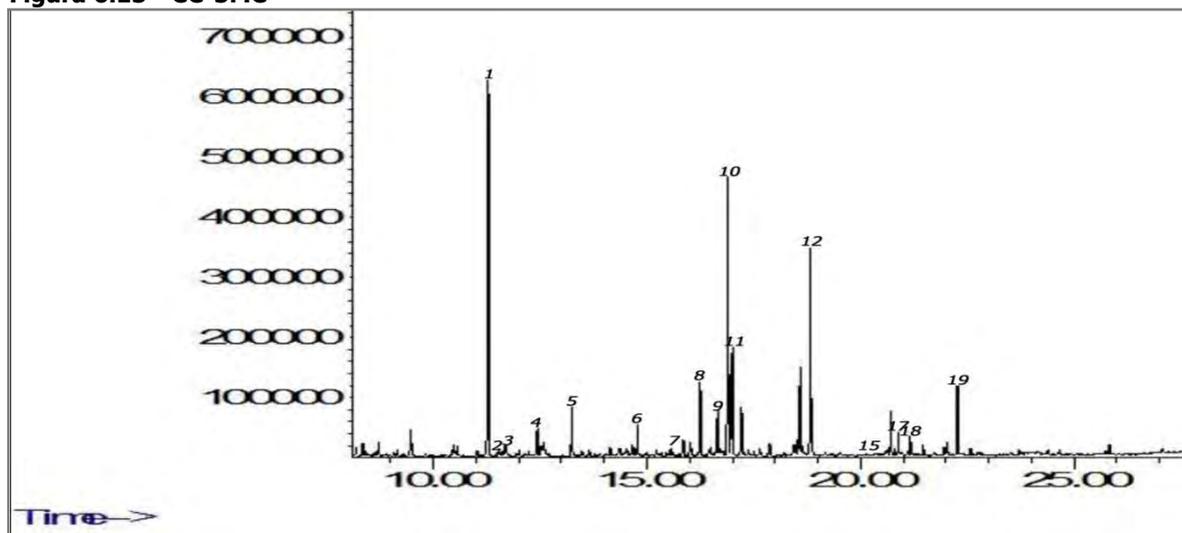


Tabla 6.16 - CC-5MC

#	t _R	m/z	compuesto identificado	nombre común
1	11284	115.0, 177.1, 205.1	6-methyl-2,4-di-tert-butyl-phenol	
4	12596	175.0, 206.9, 263.1	4,8-cis-8b,8c-cis-2,2,4,6,6,8-hexamethylperhydro-3a,4a,7a,8a-tetraazacyclopentano fluorene	
8	16249	104.0, 149.0, 223.0	isobutyl phthalate	ftalato (derivado)
9	16885	143.1, 227.2, 270.2	hexadecanoicacid, methylester	acpalmítico C16:0
10	16963	147.0, 219.1, 277.2	methyl-3-(3,5-ditertbutyl-4-hydroxyphenyl) propionate	
11	17003	161.0, 187.1, 291.2	2,7,8-trimethoxy-3-methyl-5,6-methylenedioxynaphtho-1,4-quinone	
12	18825	143.1, 255.2, 298.3	octadecanoic acid, methyl ester	acesteárico C18:0

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

13	19736	191.0, 207.0, 281.1	gibberellin A3	giberelina A3
19	22266	149.0, 167.0, 279.2	bis(2-ethylhexyl) phthalate	ftalato (derivado)

Figura 6.16 - B-5MC

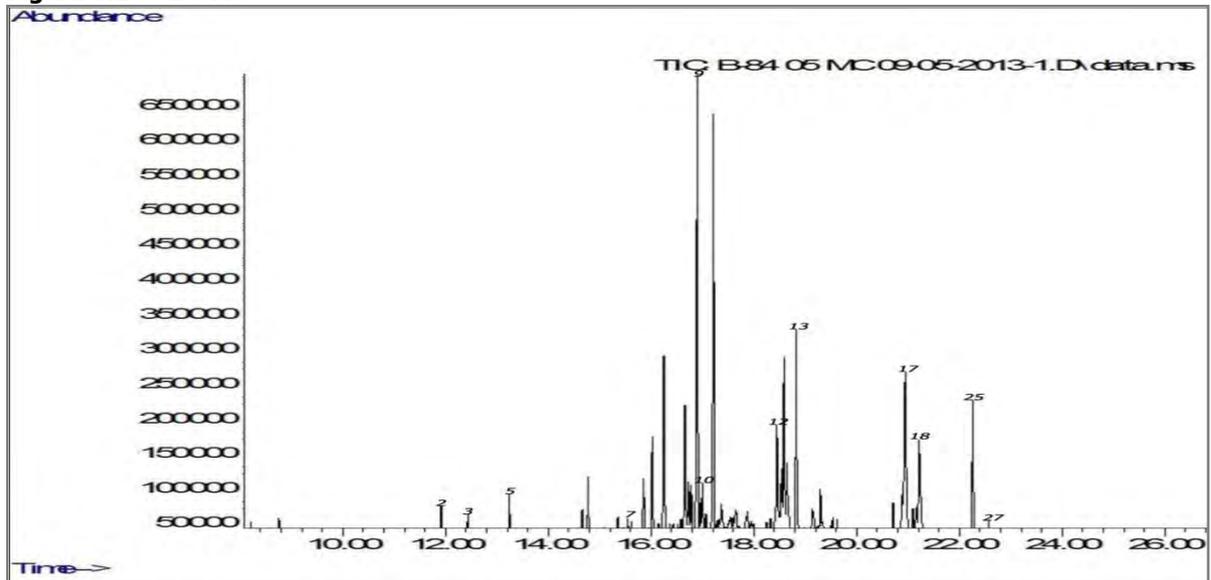


Tabla 6.17 - B-5MC

#	t _R	m/z	compuesto identificado	nombre común
1	11284	175.0, 205.1, 220.1	methyl 4,4,7-trimethyl-4,7-dihydroindan-6-carboxylate	
2	11920	125.0, 157.0, 189.0	trimethyl 2methoxypropane-1,2,3-tricarboxylate	
3	12431	162.9, 182.9, 198.0	1-ethyl-4,5,8-trimethylnaphthalene	
5	13240	103.9, 149.0, 177.0	1,2-benzenedicarboxylic acid, diethylester	ftalato (derivado)
8	16885	143.1, 227.2, 270.2	hexadecanoic acid, methyl ester	acpalmitico C16:0
9	16963	147.1, 219.1, 277.1	methyl-3-(3,5-ditertbutyl-4-hydroxyphenyl) propionate	
10	17003	187.1, 291.2, 306.2	endo-3,4-isopropylidenedioxy-exo-2-phenylthio-6-oxabicyclooctan-7-one	
13	18825	143.0, 255.2, 298.2	heptadecanoicacid, 16methyl-, methylester	ac 16-metilheptadecanoico
26	22651	207.0, 280.8	n,n'-disalicylidene-1,2-diaminopropane	

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 6.17 – B-8MC

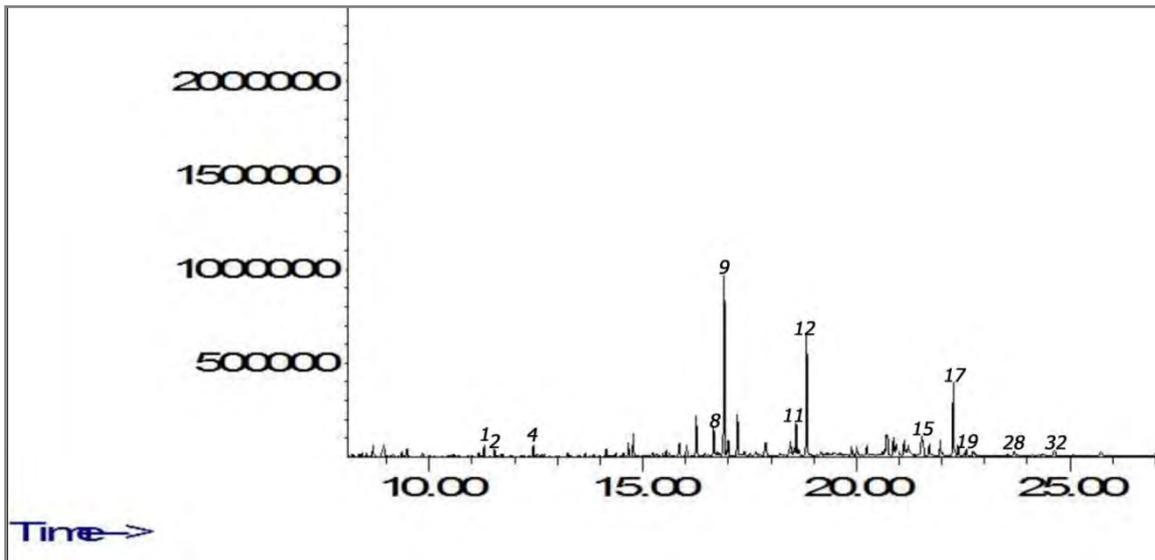


Tabla 6.18 - B-8MC

#	t _R	m/z	compuesto identificado	nombre común
1	11284	175.0, 205.1, 220.1	methyl 4,4,7-trimethyl-4,7-dihydroindan-6-carboxylate	
2	11528	132.9, 163.0, 207.0	methyl phthalate	ftalato (derivado)
3	11920	125.0, 157.0, 189.0	trimethyl 2-methoxypropane-1,2,3-tricarboxylate	
4	12431	162.9, 182.9, 198.0	1-ethyl-4,5,8-trimethylnaphthalene	
8	16893	143.1, 227.2, 270.2	hexadecanoicacid, methylester	acpalmitico C16:0
9	16963	147.1, 219.1, 277.1	methyl-3-(3,5-ditertbutyl-4-hydroxyphenyl) propionate	
12	18825	143.0, 255.2, 298.2	Heptadecanoicacid, 16-methyl-, methylester	ac 16-metilheptadecanoico
15	21559	144.7, 207.9, 281.0	gibberellin A3	giberelina A3
17	22289	118.5, 206.9, 280.8	phenol, 2,2'-[(1-methyl-1,2-ethanediyl)bis(nitrilomethylidyne)]	

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 6.18 - VR-3MC

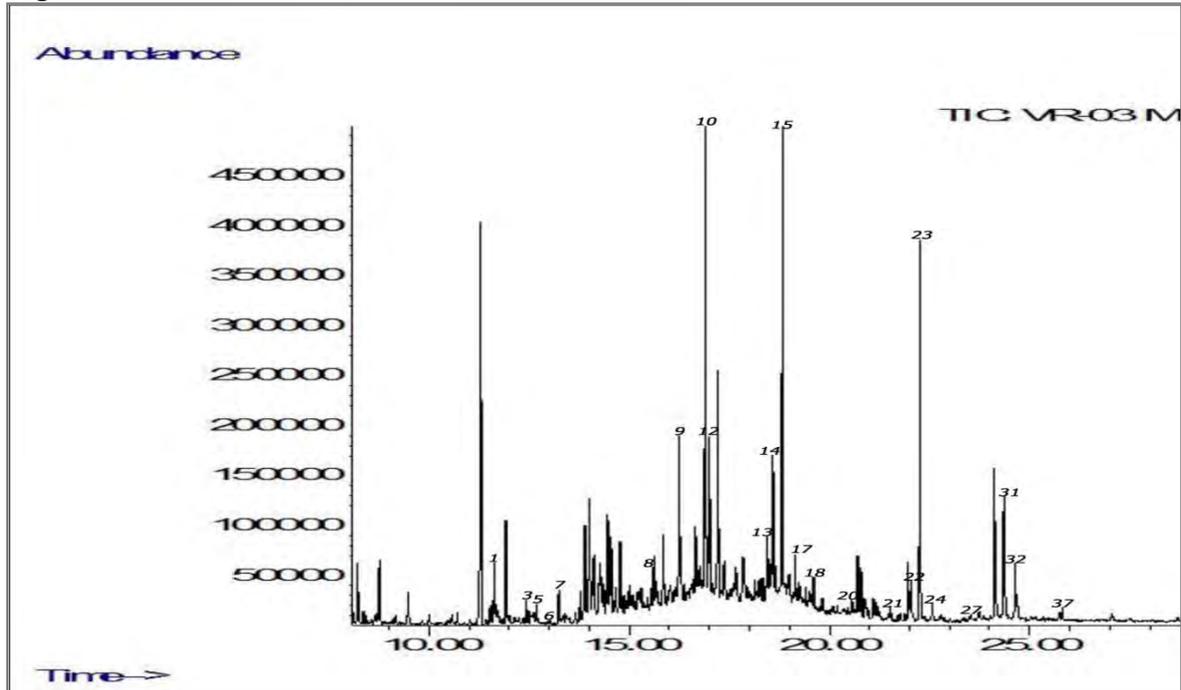


Tabla 6.19 - VR-3MC

#	t _R	m/z	compuesto identificado	nombre común
1	11528	132.9, 163.0, 207.0	methylphthalate	ftalato (derivado)
5	12682	111.1, 152.0, 185.0	nonanedioic acid, dimethyl ester	acazelaico (2C9)
9	16248	104.0, 149.0, 223.1	isobutyl phthalate	ftalato (derivado)
10	16893	143.1, 227.2, 270.2	hexadecanoicacid, methylester	acpalmitico C16:0
11	16963	147.1, 219.1, 277.2	methyl ester of 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl)-propionic acid	
14	18589	111.1, 222.2, 264.2	9-octadecenoic acid, methylester	acoleico
15	18825	143.0, 255.2, 298.2	Heptadecanoicacid, 16-methyl-, methylester	ac 16-metilheptadecanoico
22	22038	111.1, 207.0, 320.3	Erucic acid methyl ester (Z)-13	acerúxico (C22:1)
32	24638	100.1, 280.3, 365.3	3-methylpentacosane	3-metilpentacosano

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 6.19 - VR-8MC

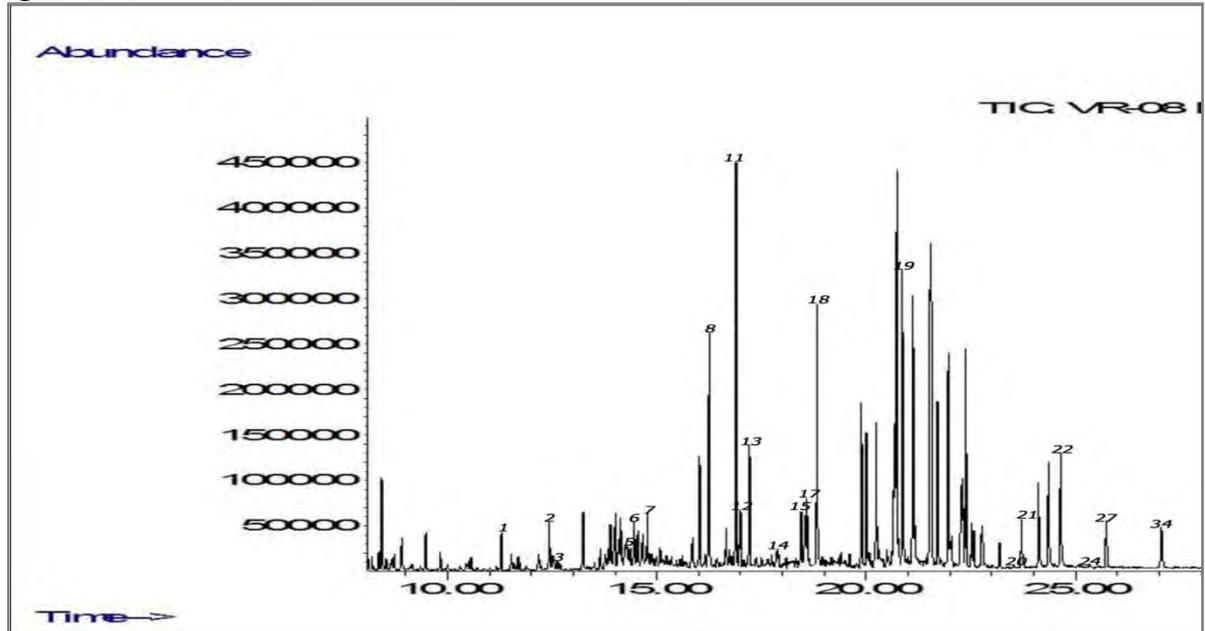


Tabla 6.20 - VR-8MC

#	t _R	m/z	compuesto identificado	nombre común
7	14772	143.1, 199.1, 243.2	tetradecanoicacid, methylester	acmirístico
8	16249	103.9, 149.0, 223.0	isobutyl phthalate	ftalato (derivado)
9	16893	143.1, 227.2, 270.0	hexadecanoic acid, methyl ester	acpalmítico C16:0
11	16995	187.1, 233.1, 291.1	endo-3,4-isopropylidenedioxy-exo-2-phenylthio-6-oxabicyclo[3.2.1]octan-7-one	
13	17207	104.0, 149.0, 223.1	butylphthalate	ftalato (derivado)
17	18582	111.1, 222.2, 264.2	methyl 9-octadecenoate	acoleico C18:1
18	18825	143.1, 255.2, 298.2	octadecanoicacid, methylester	acesteárico C18:0
19	20781	185.0, 239.1, 299.2	dehydroabieticacid	acdehidroabiético
34	26963	207.0, 280.9, 355.0	gibberellin A3	giberelina A3

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 6.20 - BAZ001-2MC

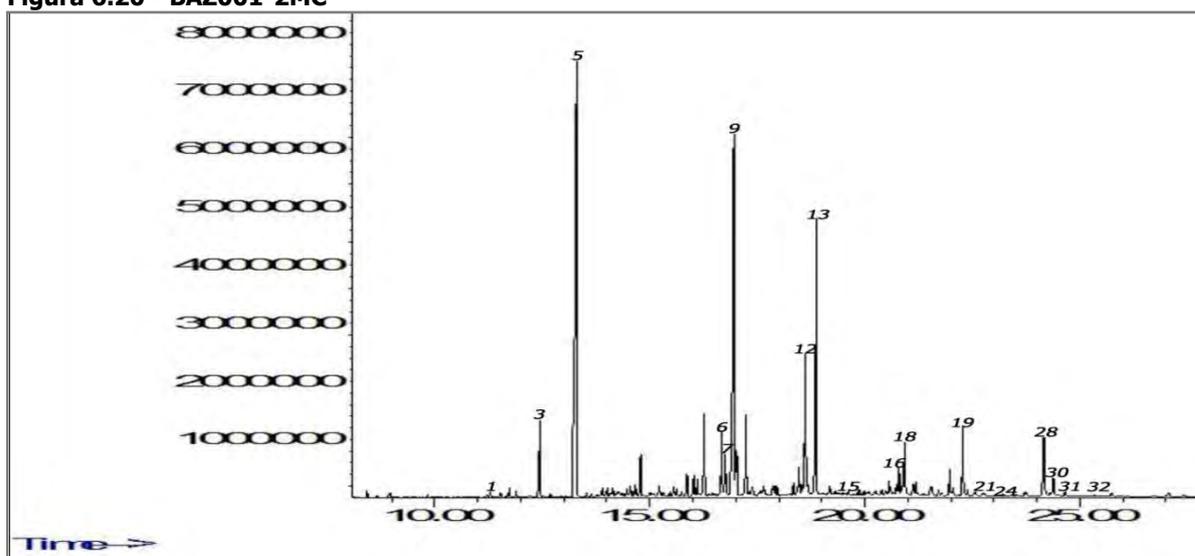


Tabla 6.21 - BAZ001-2MC

#	t _R	m/z	compuesto identificado	nombre común
1	11292	177.1, 205.1, 220.1	6-methyl-2,4-di-tert-butyl-phenol	
2	12172	134.9, 163.0, 194.0	dimethyl p-phthalate	ftalato (derivado)
4	12926	137.0, 165.0, 206.9	2,3,4,5,6,7-hexahydro-2,2,3-trimethyl-4-benzofuranone	
8	16924	143.1, 227.2, 270.2	hexadecanoicacid, methylester	acpalmitico C16:0
9	16963	147.1, 219.1, 277.1	methyl-3-(3,5-ditertbutyl-4-hydroxyphenyl) propionate	
10	16995	187.1, 233.1, 291.2	2,7,8-trimethoxy-3-methyl-5,6-methylenedioxy-naphtho-1,4-quinone	
11	17018	161.1, 187.1, 291.2	endo-3,4-isopropylidenedioxy-exo-2-phenylthio-6-oxabicyclo[3.2.1]octan-7-one	
13	18825	143.0, 255.2, 298.2	heptadecanoicacid, 16-methyl-, methylester	ac 16-metilheptadecanoico
14	19006	185.0, 289.1, 304.2	tri-o-tolylphosphine	
26	23562	205.9, 280.8, 355.1	tranilcypromine, pentafluorobenzoylester	
32	25337	206.9, 281.0, 355.1	4-hydroxyphenyllactic acid, ethyl ester, di-tms	

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Figura 6.21 - BAZ001-3MC

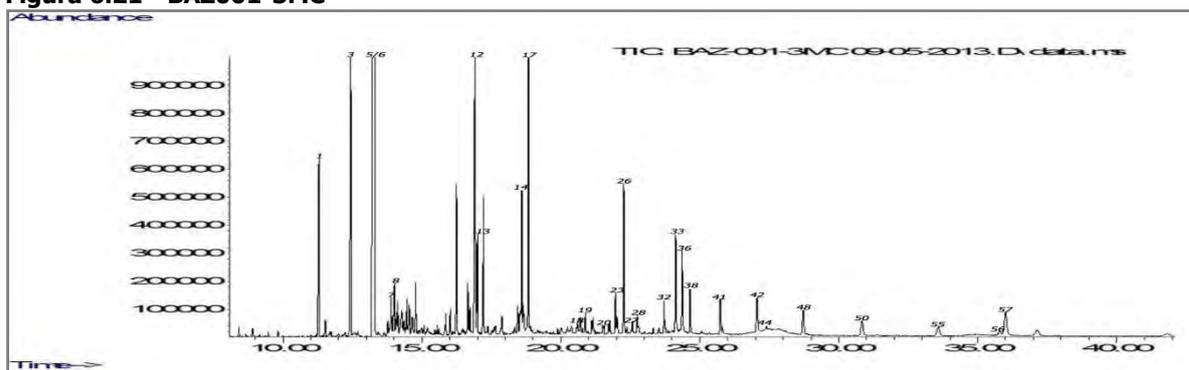


Tabla 6.22 - BAZ001-3MC

#	t _R	m/z	compuesto identificado	nombre común
1	11292	115.0, 205.1, 220.1	6-methyl-2,4-di-tert-butyl-phenol	
2	11920	125.0, 157.0, 189.0	trimethyl 2-methoxypropane-1, 2,3-tricarboxylate	
3	12431	162.9, 182.9, 198.0	1-ethyl-4,5,8-trimethylnaphthalene	
10	16908	143.1, 227.2, 270.2	hexadecanoicacid, methylester	acpalmitico C16:0
11	16955	147.1, 219.2, 277.1	methyl-3-(3,5-ditertbutyl-4-hydroxyphenyl) propionate	
13	17003	187.1, 291.2, 306.2	endo-3,4-isopropylidenedioxy-exo-2-phenylthio-6-oxabicyclo [3.2.1]octan-7-one	
14	18825	143.0, 255.2, 298.2	heptadecanoicacid, 16-methyl-, methylester	ac 16-metilheptadecanoico
17	18856	143.1, 255.2, 298.3	octadecanoicacid, methylester	acesteárico C18:0
20	21559	144.7, 206.9, 281.0	gibberellin A3	giberelina A3
25	22258	104.0, 149.0, 279.1	bis(2-ethylhexyl) phthalate	ftalato (derivado)
26	22266	104.0, 149.0, 279.1	1,2-benzenedicarboxylic acid, bis(2-ethylhexyl)ester	ftalato (derivado)
29	23255	125.1, 207.0, 438.3	2,3-didecyl-1,4-naphthoquinone	
32	23758	143.1, 339.2, 382.4	tetracosanoicacid, methylester	acmirístico C14:0
35	24387	109.1, 137.1, 351.3	squalene	escualeno
38	24662	147.0, 221.1, 355.1	3-(4-n,n-dimethylaminophenyl) propenoic acid,2-(diethoxyphosphinyl)-, ethyl ester	
44	27270	221.1, 281.0, 355.0	bistrimethylsilyln acetylcocosasphinga -4,11-dienine	-
56	35824	207.0, 441.2, 678.4	7,13,19,25-tetra-tert-butyl-27,28,29,30-tetrahydroxy -2,3-bishomo-3-oxacalixarene	

Finalmente se han agrupado los compuestos identificados en una única tabla para todas las muestras atendiendo a su composición en ácidos grasos, ácidos dicarboxílicos, quinonas y derivados, y otros (Tablas 6.23 – 6.27)

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 6.23 – Compuestos identificados en las muestras PR-04MC, PR-23MC, CC-01MC, C-02MC

	PR-4MC	PR-23MC	C-1MC	C-2MC
ac graso sat/insat	<ul style="list-style-type: none"> • ac mirístico • ac palmítico • ac esteárico • acpentadecanoico • ac oleico (Z) 	<ul style="list-style-type: none"> • acpalmítico • ac esteárico 	<ul style="list-style-type: none"> • ac palmítico • ac esteárico 	<ul style="list-style-type: none"> • ac palmítico • ac esteárico • ac 16-metilheptadecanoico
acdicarboxílico				
quinona (derivados)			<ul style="list-style-type: none"> • 2,7,8-trimetoxi-3-metil-5,6-metilendioxinafto-1,4-quinona 	<ul style="list-style-type: none"> • 2,7,8-trimetoxi-3-metil-5,6-metilendioxinafto-1,4-quinona
otros	<ul style="list-style-type: none"> • giberelina A 	<ul style="list-style-type: none"> • giberelina A 		<ul style="list-style-type: none"> • 1-etil-4,5,8-trimetilnaftalene • giberelina A

Tabla 6.24 - Compuestos identificados en las muestras TC-08MC, TC-14MC, TM-03MC, TM-08MC

	TC-8MC	TC-14MC	TM-3MC	TM-8MC
ac graso sat/insat	<ul style="list-style-type: none"> • acpalmítico • ac esteárico • ac oleico (Z) 	<ul style="list-style-type: none"> • acpalmítico • ac 16-metilheptadecanoico 	<ul style="list-style-type: none"> • acpalmítico • ac 16-metilheptadecanoico 	<ul style="list-style-type: none"> • acpalmítico • ac esteárico • ac 8,11-octadienoico
acdicarboxílico				
quinona (derivados)	<ul style="list-style-type: none"> • 2,7,8-trimetoxi-3-metil-5,6-metilendioxinafto-1,4-quinona 			
otros	<ul style="list-style-type: none"> • giberelina A 		<ul style="list-style-type: none"> • giberelina A 	<ul style="list-style-type: none"> • triacotano • giberelina A

Tabla 6.25 - Compuestos identificados en las muestras SM-01MC, SM-03MC, CC-01MC, CC-05MC

	SM-1MC	SM-3MC	CC-1MC	CC-5MC
ac graso sat/insat	<ul style="list-style-type: none"> • acmirístico • acpalmítico • ac esteárico 	<ul style="list-style-type: none"> • acpalmítico • ac esteárico 	<ul style="list-style-type: none"> • acpalmítico • ac esteárico 	<ul style="list-style-type: none"> • acpalmítico • ac esteárico
acdicarboxílico				
quinona (derivados)				<ul style="list-style-type: none"> • 2,7,8-trimetoxi-3-metil-5,6-metilendioxinafto-1,4-quinona
otros	<ul style="list-style-type: none"> • ac 3,4-dimetoxicinámico • ac 3,4,5-trimethoxicinámico 		<ul style="list-style-type: none"> • giberelina A 	<ul style="list-style-type: none"> • giberelina A

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tabla 6.26 - Compuestos identificados en las muestras B-05MC, B-08MC, VR-03MC, VR-08MC

	B-5MC	B-8MC	VR-3MC	VR-8MC
ac graso sat/insat	<ul style="list-style-type: none"> • acpalmitico • ac 16-metil heptadecanoico 	<ul style="list-style-type: none"> • acpalmitico • ac 16-metil heptadecanoico 	<ul style="list-style-type: none"> • acpalmitico • ac 16-metil heptadecanoico • acerúxico • ac oleico (Z) 	<ul style="list-style-type: none"> • acmirístico • ac palmítico • ac esteárico • ac oleico (Z)
acdicarboxílico			<ul style="list-style-type: none"> • acazelaico 	
quinona (derivados)				
otros		<ul style="list-style-type: none"> • giberelina A 	<ul style="list-style-type: none"> • 3-metilpentacosano 	<ul style="list-style-type: none"> • acdehidroabiético • giberelina A

Tabla 6.27 - Compuestos identificados en las muestras BAZ001-02MC, BAZ001-03MC

	BAZ001-2MC	BAZ001-3MC
ac graso sat/insat	<ul style="list-style-type: none"> • acpalmitico • ac 16-metil heptadecanoico 	<ul style="list-style-type: none"> • acpalmitico • ac 16-metil heptadecanoico • ac esteárico • acmirístico
acdicarboxílico		
quinona (derivados)	<ul style="list-style-type: none"> • 2,7,8-trimethoxi-3-metil-5,6-metilendioxinafto-1,4-quinona 	<ul style="list-style-type: none"> • 2,3-didecill-1,4-naftoquinona
otros		<ul style="list-style-type: none"> • escualeno • giberelina A

6.6. Discusión

Para mejorar la estabilidad del adobe antiguo (mezcla de arcilla, arena y paja) la bibliografía describe la frecuente adición de diversos productos orgánicos de muy diferente naturaleza y procedencia (grasas, leche, ceras, sangre, orina, huevos, azúcar, aceite de linaza, zumo de frutas o vegetales, queso, cerveza, arroz, vino, resinas,... (SOUZA et al, 2014; RIVERA GROENNOU, 2009; SANTIAGO, 2007b), cuyo estudio constituye el objetivo de este estudio. A partir de los resultados del análisis cromatográfico de las 18 muestras estudiadas podemos confirmar la existencia de algunos compuestos orgánicos en ellas. Aunque mediante la cromatografía de gases se han separado un gran número de ellos y el correspondiente espectro de masas nos ha permitido asignar muchos de ellos con un grado de probabilidad aceptable, sin embargo construir una hipótesis definitiva acerca de su origen, no es abordable con la información que se dispone en ese estudio. Por esa razón, será un objetivo a desarrollar en el futuro.

No obstante, el análisis de los resultados pone claramente de manifiesto la presencia de diferentes ácidos grasos saturados (ácido palmítico C18:0; ácido esteárico C16:0; ácido mirístico C14:0) propios del empleo de lípidos de origen animal y vegetal. En las muestras PR-04MC, TC-08MC, VR-03MC y VR-08MC, se identifican los ácidos insaturados y/o dicarboxílicos (ácido oleico C18:1, ácido azelaico C9) característicos de aceite vegetal. Se puede afirmar, por tanto, con un elevado porcentaje de probabilidad, el uso de aditivos lipídicos de origen animal y/o vegetal en la fabricación de estos materiales de construcción.

Se ha descrito en la bibliografía consultada, el uso de otras sustancias orgánicas constituidas por polisacáridos y proteínas (MARTINET, 1992; SOUZA, 2014), por lo que su identificación también ha sido objeto de nuestro estudio. No obstante, este tipo de compuestos presentan una mayor solubilidad que propiciaría su migración, lo que podría justificar el hecho de no identificarlos en los cromatogramas registrados. En seis de las muestras se identifican derivados de las quinonas (GONZÁLEZ et al, 1971); en las dos muestras procedentes del yacimiento de Castellons (C-01MC y C-02MC) y Cerro Cepero (BAZ001-02MC y BAZ001-03MC) y en una de las muestras de Costa Capellans (CC-01MC) y Turo Calvari (TC-08MC). Dos derivados del ácido cinámico se identifican en la muestra SM-01MC procedente de San Miquel, ambos son compuestos característicos de determinadas plantas. Es de destacar que en la mayoría de las muestras aparece Giberelina A, una fitohormona que se relaciona con semillas, raíces y hojas de las plantas inmaduras y en los

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

frutos en desarrollo (BREIJO, 2014; TAIZ y ZEIGER, 2006), pero cuya presencia no se había descrito hasta ahora en la bibliografía consultada (MAGALONI, 1998; DANNELS y KITA ,2015)... .

Además, se ha encontrado en la mayoría de muestras derivados de ftalato (ésteres del ácido ftálico), que son compuestos sintéticos utilizados en la fabricación de varios productos, como materiales vinílicos, repelentes para insectos, polímeros y plastificantes en general (BANEGAS, 2011; BUSTAMANTEMONTES et al, 2001). Estos compuestos son oriundos, muchas veces, de partes de los equipamientos utilizados, y obligatorios, para manipulación, transporte y reserva técnica de los fragmentos de una expedición arqueológica (guantes, cajas plásticas, telas plásticas, etc.). Sin embargo, esa práctica puede causar una contaminación en los objetos arqueológicos e históricos, que podrían enmascarar los resultados reales en estudios ulteriores, sin olvidar del comprobado efecto nocivo para el investigador (GRIMA, 2004). Este también será un aspecto para abordar en el futuro, elaborando un protocolo específico para evitar su contaminación durante el protocolo arqueológico de las mismas.

Conclusiones



7. CONCLUSIONES

Como objetivo primordial fue definido la caracterización de los materiales de tierra cruda utilizados para la construcción en diez yacimientos localizados en las regiones nordeste y sur de la Península Ibérica (actuales Cataluña y Andalucía, respectivamente). Para eso, se han trazado algunos puntos: i) diferenciar estos fragmentos mediante análisis de imágenes; ii) conocer las características de sus materias primas, utilizando ensayos de distribución granulométrica e índices de plasticidad; iii) caracterizar mineralógicamente los elementos a través de difracción de rayos X; iv) determinar sus composiciones químicas con la fluorescencia de rayos X; v) encontrar residuos orgánicos existentes en las pastas para su producción y vi) crear una base de datos con el conocimiento alcanzado. Fue con esa convicción que las conclusiones fueron fundamentadas y tras el estudio de las 123 muestras de las regiones mencionadas, que están compuestas de fragmentos de adobes y morteros, se ha comprobado que los estudios arqueométricos, mediante las técnicas de análisis elegidas, han resultado como un trabajo productivo para la caracterización de los elementos constructivos de tierra.

Así que, de los resultados obtenidos en esta investigación, se destacan las conclusiones más importantes:

1. Los estudios y comparaciones texturales, mediante observación a simple vista de imágenes, demuestran que debido a la gran homogeneidad mineralógica ese parámetro es poco eficaz como criterio de discriminación. Se puede ver que las muestras de adobe están caracterizadas por una escala cromática que se extiende de gris a rosáceo, con textura porosa y granular, una estructura muy poco compacta y presencia visible de materia orgánica, que por sus porcentajes ha condicionado los colores de las muestras. Los áridos son arcillosos, de aspecto liso, aristas redondeadas y poseen distribución irregular con escasas impurezas.
 - 1.1. Mientras que en los grupos de los morteros predominan los colores rosáceos, seguidos de los blancos. La textura se presenta maciza en la mayoría de las muestras, con estructura compacta y, en general, sin presencia visible de material orgánico. En ese caso, la secuencia cromática de las muestras ha sido influenciada por los porcentajes de óxidos. Los áridos poseen morfología angulosa, aspecto

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

áspero, aristas vivas y sin impurezas, indicando características de previo machaqueo para posterior adición en la pasta.

1.2. En la observación general de las muestras mediante el examen visual y lupa se apreció que las características del adobe y de los morteros son muy diferentes. Los adobes son menos compactos, con porosidad más abundante y están, en su mayoría, constituidos por arena más fina que la de los morteros. Las distribuciones de los áridos en esos elementos son también distintas y siguen una ordenación que puede tener su origen en la manufactura y/o utilización del material en su momento de aplicación propia. Los áridos son mal distribuidos en los adobes y poseen una colocación más ecuánime en los morteros. Esos tipos de distribución indica que probablemente hubo poco cuidado en la selección y colocación de áridos en los adobes. No obstante, en los morteros, quizás por la técnica utilizada, los áridos fueron mejor repartidos. Los tipos de poros confirman un probable uso de elementos vegetales en la elaboración de los adobes.

1.3. En contrapartida, en los morteros se puede ver una gran cantidad de poros del tipo vesicular y almacenamiento que sirven, en su mayoría, para retención de agua por no comunicarse con otros poros. Mientras que los poros tipo enraizamiento y canales, producidos por moldes de elementos vegetales, están en pequeña cantidad indicando un pequeño uso de elementos vegetales en los morteros y exhibiendo una compacidad superior de este elemento en relación a los adobes.

2. El estudio mineralógico por difracción de rayos X exhibe una composición básica para todas las muestras, donde las fases minerales se diferencian únicamente por sus abundancias relativas en cada muestra. El cuarzo se ha podido identificar en todas las muestras, a pesar de la calcita aparecer como elemento principal seguida por la moscovita. Sin embargo, el yeso se ha mostrado en una cantidad considerable en las muestras de morteros. Hay presencia frecuente de ortoclasa y anortoclasa, además de otros minerales neoformados en alta temperatura, caracterizando una probable utilización de adiciones de materiales cerámicos en la pasta para la fabricación de los elementos constructivos. Otra particularidad expuesta es la concentración de aragonito en muestras de Villaricos, sugiriendo una producción de la cal a través de la quema de conchas marinas y que podría complementar las pastas para las fabricaciones de los morteros. Esa cal podría perfeccionar las características de las pastas y consecuentemente la durabilidad de la construcción, con el aumento de la

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

resistencia mecánica. Conjuntamente se puede ver la fuerte presencia de yeso en la composición de las muestras de Costa Capellans, Villa de Barrugat y Villaricos. En ese caso, la gran concentración de ese mineral en las pastas podría favorecer el fraguado en áreas de intensa humedad. Ese mismo mineral posee elevada concentración en muestras de Villa de Barrugat y Villaricos. Posiblemente su mayor utilización provenga de las antiguas explotaciones de yeso en la región.

3. El análisis granulométrico presenta que las muestras de adobe tienen una clase textural de bloque poroso, donde se observa una matriz constituida por arenas medias, finas y limo. Los tipos de morteros son de clase textural más compacta y la matriz posee una formación semejante a los adobes, sin embargo, la arena gruesa y la grava fina marcan los del tipo pavimento. Los porcentajes de limos y arcillas varían de moderados a bajos con acumulación inferior a 20%, conjeturando que las pastas para la elaboración de los adobes y morteros tenían características de arenas limo-arcillosa. La similitud existente entre los materiales estudiados, relacionado a su distribución y tamaños de granos, indica que mismo de una manera empírica es posible que haya tenido una selección de materia prima y una incipiente estabilización granulométrica para la elaboración de adobes y morteros.
4. Los límites de consistencia de Atterberg exhiben características de arcillas de baja plasticidad en la mayoría de las muestras, un material moldeable con tendencias a fisuras de acuerdo con la variación de humedad. Esa predisposición a fracturas fue minimizada con el uso fibras vegetales que reducen los efectos de las retracciones en el momento del secado, proporcionando mayor cohesión y estabilidad al material.
5. El estudio químico por fluorescencia rayos X presenta una similitud química entre las muestras de cada yacimiento, probando el argumento sobre el uso de materias primas del entorno inmediato para la fabricación de elementos constructivos. Demuestra también que, independiente de las diferencias geológicas y cronológicas, el uso del óxido de calcio (CaO_2) en gran cantidad en todas las muestras es indiscutible, siendo más evidente en los yacimientos del Sur y de la Edad del Hierro en adelante. Se puede creer que el aumento de la cantidad de óxido de calcio (CaO_2) en las pastas para la fabricación de los adobes y morteros ha proporcionado la mejora de la resistencia mecánica proporcionada por la cal. Sin duda la utilización de

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

la cal en esos yacimientos puede aportar una información valiosa sobre las tradiciones constructivas de las regiones. La posibilidad de la fabricación de la cal mediante la quema de conchas marinas es un tema de interés para estudios futuros, visto que en Villaricos la concentración de óxido de calcio (CaO_2) está bien aumentada en relación a los otros sitios.

5.1. El nivel de contaminación por óxido de azufre (SO_3) es muy alto en los yacimientos que están cerca de la costa, quizá por tener una situación favorable al crecimiento poblacional rápido y constante.

5.2. La concentración de Pb (plomo) elevada caracteriza con precisión las muestras de los yacimientos situados en las zonas mineras y ricas en galena y plata como Puig Roig, Castellons, Villaricos, Cerro del Santuario y Cerro Cepero.

5.3. El parámetro *Loss on Ignition* (LOI), que hace referencia a la pérdida por calcinación de compuestos y partículas orgánicas durante la obtención de la perla en los estudios de fluorescencia de rayos X, tiene promedio superior a 30% en las muestras de adobes. Ese hallazgo sirve como indicativo de elevados contenidos de materia orgánica (fibras vegetales y residuos de otros aditivos) en ese tipo de elemento constructivo, además de fortalecer la clasificación y diferenciación entre morteros y adobes.

6. Mediante análisis por GC-MS se han podido identificar algunas sustancias orgánicas utilizadas como aditivos en la fabricación de los materiales de construcción de tierra cruda. Entre estos componentes se identifican ácidos grasos saturados, insaturados y dicarboxílicos, naftoquinonas y derivados oxidados del ácido cinámico.

6.1. A partir de los compuestos encontrados se establece una correlación entre su naturaleza química y la de las sustancias químicas adicionadas a la pasta (goma arábiga, goma tragacanto, albúmina, queratina, caseína, jugo de higo, sangre, clara de huevo, pasta de centeno, y otras).

6.2. Dado que la mayoría de los compuestos identificados se encuentran en muestras procedentes de todos los yacimientos estudiados, se puede argumentar que se trata de una práctica habitual y tradicional la utilización de este tipo de aglutinantes en la elaboración de materiales de construcción.

6.3. La identificación de estos compuestos orgánicos es de gran importancia porque podría justificar la continuidad en el tiempo de una tradición en construcción en tierra

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

cruda, materializada por la presencia entre nosotros de innumerables edificaciones milenarias.

7. En esa investigación se ha visto lo difícil que es clasificar los fragmentos de adobes, sea por sus similitudes de textura o las pocas diferencias mineralógicas y químicas. Se ha conseguido clasificarlos mínimamente, pero eso no ha sido suficiente para encontrar una secuencia cronológica precisa de su tecnología. No obstante, los elementos agregados para una supuesta mejora de éstos en verdad demuestran un pequeño aumento de conglomerados en su aspecto visual, tornándolos más compactos y menos quebradizos. Las dos clases de adobes tienen divisiones de colores bastante significativas y que sirvieron para validar la clasificación según características químicas y mineralógicas. La existencia de las dos clases de adobes en un mismo yacimiento señala como un factible desarrollo del conocimiento de la población de estos sitios sobre los suelos de su región y un inicio de perfeccionamiento de la técnica, que se refleja en la mejora y transformación de ese elemento constructivo.

8. Los fragmentos de morteros (argamasas, revocos, pavimentos, etc.), distintamente de los adobes, poseen una clasificación más eficaz considerando las características mineralógicas, químicas y texturales. Fueron tipificadas seis clases de morteros que pudieron correlacionar las muestras a través de sus aspectos cronológicos y geográficos. La mitad del total de muestras (50%) está compuesta por morteros de clase II (arena gruesa con textura flotante).

9. Como una visión general y no olvidando la diferencia cronológica y geográfica entre los varios yacimientos, se puede constatar la suposición de ocurrir una cierta especialización en la elaboración de los materiales constructivos de tierra cruda, en particular de adobes y morteros. Esta evolución de la eficiencia tecnológica se verifica por la mejora en la composición y el aumento de la eficacia del manejo de estos materiales, llevando a una deducción de que la población de estos yacimientos tenía nociones bien precisas sobre el uso de la tierra cruda como elemento constructivo. Las semejanzas mineralógicas y químicas entre los grupos de muestras de cada sitio concluyen que las materias primas provenían de su entorno inmediato. Independiente de la diferencia geográfica y temporal las muestras poseen características y

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

propiedades afines, indicando un proceso continuo de mejoras en la técnica de manufactura de adobes y morteros.

Glosario



8. GLOSARIO

A

Adiciones: Son sustancias inorgánicas, puzolánicas o con hidraulicidad latente que finamente molidas pueden añadirse al mortero en proporciones mayores que los aditivos que tienen como función modificar algunas de las propiedades del mortero.

Aditivos: Son las sustancias o productos que, incorporados al mortero o pasta antes o durante el amasado y/o durante un amasado suplementario, en una proporción no superior al 5% del peso, que producen la modificación deseada en dicho mortero o pasta en alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento, sea en estado fresco o endurecido; y, no deben de actuar desfavorablemente en la calidad de la ejecución de la obra, la durabilidad y/o la resistencia a los agentes atmosféricos.

Adhesión: Resistencia en tracción de la interface norte-unidad de albañilería.

Adobe: Unidad en forma de paralelepípedo recto, elaborada de barro y secada al sol.

Adobera: Molde de adobes.

Aglomerante: Material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por efectos de tipo exclusivamente físico, por ejemplo el barro.

Aglutinante: Son productos pulverizados que, cuando se mezclan con agua, sufren unas transformaciones químicas que producen su endurecimiento al aire o bajo el agua, este proceso se conoce como fraguado.

Agregado: Material grueso en la tierra, tales como arena, grava y piedra caliza que es extraída para su uso en la industria de la construcción.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Aparejo: Forma y disposición de los materiales de construcción. Los aparejos romanos suelen designarse con la palabra "opus" (obra), seguida de un adjetivo que identifica el tipo de aparejo.

Arcilla: Son cualquier sedimento o depósito mineral que es plástico cuando se humedece y que consiste de un material granuloso muy fino, formado por partículas muy pequeñas cuyo tamaño es inferior a 4 micras, y que se componen principalmente de silicatos de aluminio hidratados.

Arena: Es un material granular de un tamaño que oscila entre 0,06 mm y 2 mm.

Arenisca: Roca sedimentaria formada por la compactación y cementación de arenas con un cemento de tipo silíceo o calizo.

Árido: Fragmentos de materiales duros, normalmente arenas y gravas procedentes de rocas, que se emplean en la fabricación de morteros y hormigones.

Argamasa: Mortero de albañilería hecho de cal, arena y agua.

Azadón: Azada de pala un poco curva y más larga que ancha.

B

Barro: Masa blanda y compacta que resulta de la unión de tierra y agua. Material hecho de una mezcla de agua y arcilla o tierra rojiza que se moldea y, al cocerse en un horno, se vuelve duro e impermeable; se usa para hacer recipientes y otros objetos.

Bajareque o bahareque: Pared de palos entretrejidos con cañas y barro.

Basamento ciclópeo: Pedestal que está formado por piedras de enorme tamaño colocadas por lo general sin argamasa alguna.

Bóveda: Obra de fábrica de superficie curva que se apoya en muros, pilares o columnas, la engendra el movimiento o repetición del arco, Hay varios tipos, De Aristas, es la originada

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

por el cruce perpendicular de dos bóvedas de cañón de la misma flecha o altura, Bóveda de Cañón, Es la engendrada por el desplazamiento de un arco de medio punto a lo largo del eje longitudinal, Generalmente está reforzada con arcos fajones, Puede tener tantos matices como el propio arco peraltado, rebajado o apuntado, Bóveda de Crujería, Su estructura está compuesta por arcos que se cruzan diagonalmente, también llamados nervios, con una clave central común y cuyo espacio se cubre complementos, Bóveda de Horno, Consta de un cuarto de esfera y por lo general cubre el espacio del ábside semicircular, Bóveda Vaída, es De forma esférica cortada por los cuatro planos verticales y perpendiculares entre sí.

C

Cal: Conglomerante formado generalmente por óxido de calcio, también incluye las diferentes variedades de óxido e hidróxido de calcio y de magnesio. Es el término que se usa de modo impreciso para referirse tanto a la cal viva.

Cal hidratada: Hidróxido de calcio $[Ca(OH)_2]$. Un polvo seco, floculento, blanco, que se obtiene de la hidratación de la cal viva en un proceso controlado que se denomina apagado.

Cal hidráulica y semihidráulica: Especie de cemento que se obtiene de la calcinación e hidratación de calizas que contienen arcillas y margas.

Cal viva: Óxido de calcio (CaO). Un sólido de color blanco o blanco grisáceo, que se obtiene de la calcinación de la piedra caliza, conchas marinas o tiza.

Canto: Fragmento de roca que se distingue por su forma redondeada y su tamaño grava.

Conglomerante: Material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por transformaciones químicas en su masa que originan nuevos compuestos, por ejemplo el yeso, la cal, el cemento.

Contrafuerte: Refuerzo vertical de un muro, generalmente exterior, que contiene y contrarresta las presiones laterales. También se le llama estribo

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Criba: Aparato para separar por tamaños similar a un tamiz, que consiste (normalmente) de una superficie que está atravesada por orificios de tamaño y forma característica.

Cribado: Es una operación de separación granulométrica que se realiza utilizando una criba.

Curado: Endurecido, seco, fortalecido o curtido.

Cúpula: Bóveda semiesférica. Normalmente cubre un espacio cuadrado, cuyo paso o planta circular u octogonal se da por medio de trompas o pechinas. Cuando se desea conseguir una mayor elevación de la cúpula, no se hace a esta reposar sobre las trompas o pechinas, sino sobre un anillo o tambor, a menudo cilíndrico u octogonal. Hay varios tipos. Gallonada. la que recuerda o imita el aspecto de los gajos de una naranja. Falsa Cúpula. la obtenida por aproximación De hiladas

D

Disolvente: Componente de una disolución que se encuentra en mayor proporción, de modo que otros componentes pueden disolverse en él.

Dolomías: Roca sedimentaria compuesta por dolomita y calcita, de colores claros variables y empleada en la construcción.

Dosificación: Es la proporción en volumen o en peso de los distintos materiales integrantes del mortero (aglomerante/árido), y dependerá de la finalidad del mortero, de su composición y de la resistencia mínima deseada

E

Eje: En Arquitectura el eje es una línea definida por dos puntos en el espacio, en torno a la cual cabe disponer formas y espacios.

Encepado: Es un elemento constructivo de constitución robusta, que sirve para enlazar grupos de pilotes con los pilares o muros estructurales del edificio.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Encofrado: Armazón de planchas metálicas o de madera en que se echa el cemento u hormigón para que, al endurecerse, tome determinada forma.

Enlucido: Revestimiento fino de una pared interior a base de yeso, aplicado sobre un guarnecido.

Entramado: Armazón de madera o metal que sirve para hacer una pared, tabique o suelo, una vez rellenos los huecos.

Estuco : Pasta de cal apagada y mármol pulverizado, que se aplica sobre paredes revocadas antes de ser decoradas. Tiene numerosos usos por su bajo costo y ligereza

F

Fabrica: Construcción de obra con piedra o ladrillo

Fraguar: Llegar a endurecerse el mortero u otra sustancia parecida en una obra de construcción.

Fresco: Pintura mural realizada con pigmentos de origen mineral aplicado sobre un soporte de argamasa de arena y cal con brochas

G

Granulometria: Proporción de los diferentes tamaños presentes en un árido, determinada por tamizado; distribución granulométrica.

Grava: Material formado por cantos de tamaño superior a 2 mm, normalmente mayor de 1 cm.

H

Hiladas: Cada una de las filas horizontales de ladrillos, sillares, etc, en el aparejo de un muro

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

K

Kasbahs: Barrio árabe sobrepoblado y pobre en una ciudad del Norte de África (también casbah)

L

Ladrillo: Masa, en forma de paralelepípedo rectangular, de arcilla cocida para construir muros

Ligante: Cualquier agente cementante de suelos o áridos, por ejemplo, agua, arcilla, cemento, cal o resinas sintéticas.

M

Machón: Pilar de obra maciza, Contrafuerte

Mampostería: Fábrica de piedra sin labrar o con la piedra tosca, que se apareja o dispone de modo irregular, Cada una de las piedras que la forman se llaman Mampuestos, a las que para que asienten bien se les colocan a menudo unas piedras pequeñas a modo de cazo denominadas ripios

Marmolina: Mármol artificial.

Mortero: Mezcla de conglomerante inorgánico (yeso, cal, cemento), árido y agua, a veces, con ciertas sustancias orgánicas y/o inorgánicas, que mejoren sus propiedades. Los componentes de dicho mortero deben estar en tales proporciones que permitan que la mezcla sea trabajable cuando está fresca y con propiedades fisicomecánicas aceptables

Q

Quilombo: Viene del kimbundu, una de las lenguas bantúes más habladas en Angola: *kilombo* o también palenque. Es un término usado en Latinoamérica para denominar a los lugares o concentraciones políticamente organizadas. En Brasil es el más famoso

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

refugio del colonialismo en América Latina fue el "Quilombo dos Palmares", en el Brasil (colonia portuguesa). Tenía una población de más o menos 15.000 esclavos rebeldes y se mantuvo durante casi todo el siglo XVII. Las tropas reales portuguesas usaron 6.000 soldados y les costó dos años rendirla de los negros esclavos cimarrones en lugares con fuente de agua y cuevas, con alcaldes que ejercían su autoridad al interior de los mismos.

Quincha: Trama o enrejado de juncos, cañas, varillas, etc., que suele recubrirse de barro, con que se afianza una construcción.

Qsar o igherm: Tipo de vivienda familiar fortificada en Marruecos, que puede darse tanto en el interior de los poblados amurallados como aislada fuera de él, aunque en este último caso lo habitual es que se encuentren varias y con una cierta proximidad entre ellas.

P

Paramento: Aspecto o disposición de los elementos en un muro.

Pasta: Material formado por un conglomerante, yeso, cal o cemento, mezclado con agua.

Pau-a-pique: También conocida como "taipa de mão, taipa de sopapo ou taipa de sebe", es una técnica constructiva antigua que consistía en el entrelazamiento de maderas verticales fijadas en el suelo, con vigas horizontales, generalmente de bambú amarradas entre ellas por cuerdas vegetales, dando origen a un gran panel perforado que, después de tener los vanos rellenos con barro, se transformaba en pared. Podría recibir acabado alisado o no, permaneciendo rústica, o aún recibir pintura de cal.

Paulista: Es utilizado mayormente como gentilicio del Estado de São Paulo, Brasil.

Piedra caliza: Es una roca sedimentaria muy común de origen bioquímico. Está compuesta principalmente por el mineral calcita. A veces es calcita casi puro, pero la mayoría de las calizas están llenos de un montón de otros minerales y arena, se les llama caliza sucio.

Pisón: Instrumento de madera para apretar y allanar la tierra u otra superficie, formado por un cuerpo con figura de cono truncado y un mango.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Plastificante: Aditivo que incrementa la plasticidad de una mezcla de hormigón, mortero o pasta de cemento.

Puzolana: Es el nombre que recibe la ceniza y las piedras volcánicas que provienen de la población de Puzzuoli, en las faldas del Vesubio, Italia. Actualmente por puzolana se conoce a una diversidad de rocas, arenas y piedras volcánicas. Su explotación y uso, principalmente en la construcción, data de la era romana.

R

Revestimiento: Es una capa de un material específico que se utiliza para la protección o el adorno de las paredes, el techo o el piso.

Revoco: Capa de mortero, normalmente de cal y arena fina, que se pone por la parte exterior las paredes de un edificio o paramento.

Revoque: Acción que consiste en enlucir o revestir una pared con algún material. Capa o mezcla con que se revoca, especialmente la formada por cal y arena.

S

Sillares: Piedra labrada que se emplea en construcción.

Soga o paralela: Manera de construir colocando los ladrillos o piedras con el lado más largo a la vista.

Solado: Revestimiento de un piso con ladrillo, losas u otro material análogo.

T

Tapial: Pared hecha con piezas de tierra amasada.

Tapiería: Conjunto o agregado de tapias que forman una casa o una cerca.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Tizón o transversales: Expresión que indica que las piedras o ladrillos de un muro se han colocado de manera que se vea en la fachada su lado más pequeño.

Toba: Roca calcárea porosa y esponjosa formada por la precipitación de cal que lleva el agua de los ríos y fuentes.

Toba volcánica: Material volcánico consolidado, formado por cenizas y arenas.

Trabajabilidad: Facilidad de manejo de una mezcla de mortero u hormigón para colarla en su forma final.

Trabar: Juntar o unir dos o más cosas. Espesar o dar mayor consistencia a un líquido o a una masa. Rellenar con masa de mortero las juntas de una obra de construcción.

Trabazón: Unión o enlace de dos o más cosas entre sí.

V

Verdugada: Hilada de ladrillos en una construcción

Y

Yesería: Obra o decoración hecha grabando o tallando formas sobre una superficie de yeso.

Yeso: Mineral blando, compuesto de sulfato cálcico hidratado y generalmente de color blanco, que molido y mezclado con agua forma una pasta usada en construcción y en escultura.

Z

Zanja: Excavación larga y angosta que se hace en la tierra.

Bibliografía



9. BIBLIOGRAFÍA

A

AD-DABABI, K. (2007). Shibam. Historia yemení y belleza nacional. En *Turismo Islámico*, 29, Mayo-Junio de 2007, pp. 50-56.

ADROHER, A. M.^a; LÓPEZ MARCOS, A. (1992). Reinterpretación cronológica de la necrópolis ibérica del Cerro del Santuario (Baza, Granada). *Florentia Iliberritana: Revista de estudios de antigüedad clásica* (3), Universidad de Granada, Granada, 1992, pp. 9-38.

ADROHER, A. M.^a; GIL, S.; CABALLERO, A.; PIERNAS, E.; MUROS, A.; OYONATE, J. y AYAS, M. (2008a). Bastetania ibérica. Viaje arqueológico por las altiplanicies. Asociación de Estudios de Arqueología Bastetana, Baza, pp. 97-143.

ADROHER, A. M.^a (2008b). La Bastetania arqueológica. Estado de la cuestión. En *1er Congreso Internacional de Arqueología Ibérica Bastetana*, Vol. 1, 2008 ([Ponencias]). pp. 211-246.

ADROHER, A. M.^a. y CABALLERO, A. (2008c). Los santuarios al aire libre en el entorno de Basti (Baza, Granada). En *1er Congreso Internacional de Arqueología Ibérica Bastetana*, Vol. 2, 2008 (Comunicaciones). pp. 215-228.

AGUDO, P. U. (2006). La construcción con tierra en la arquitectura doméstica del nordeste de la Península Ibérica. En *SALDVIE*, 6, pp. 213-223.

AGULLEIRO, B., y ALONSO, J. J. (1972a). Geoquímica de las rocas carbonatadas españolas. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Geológica*, (70), 5-28.

AGULLEIRO, B., y ALONSO, J. J. (1972b). Estudio del residuo insoluble de rocas carbonatadas españolas. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Geológica*, (70), 29-54.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Associazione Italiana di Archeometri – AIAR (2015).

Recuperado de <http://www.associazioneaiar.it/>

Australian Institute of Nuclear Science and Engineering (2015). Recuperado de <http://www.ainse.edu.au/>

Australian Institute of Nuclear Science and Engineering (2015). *Recuperado de* <http://www.ainse.edu.au/>

ALEGRIA, J. y FRAGUEIRO, N., (2002). Itinerários da Terra – Inventariar o Património de Arquitectura em Terra. Em *Contributo para um Inventário no Concelho de Silves*. Comissão de Coordenação da Região do Algarve. Bilingüe em português e espanhol.

ALEJANDRE SÁNCHEZ, F. J. (2002). Historia, caracterización y restauración de morteros. IUACC. Universidad de Sevilla.

ALEJANDRE SÁNCHEZ, F. J. y MARTÍN del RÍO, J. J. (2005). Caracterización Analítica de la Muralla de Tapial Almohade de San Juan de Aznalfarache (Sevilla, España). Dpto. de Construcciones Arquitectónicas II, E.U.A.T., Universidad de Sevilla, Sevilla, España. Clave CyR, S.L. pp. 1 a 7.

ALFARO, V. S. (2006). Arquitectura de tierra en el sur de Marruecos. El oasis de Skoura. En *Colección Arquíthemas* núm. 18. Recuperado de http://www.via-arquitectura.net/05_prem/058-05p.htm

ALFARO, R.; MORENO, E. B.; CERVANTES, A.; GRABSI, Y.; LÓPEZ ROBLES, J. M.; **MANZANILLA, L.; ... y ROCHA, A. M. (2007)**. Cámaras ocultas en la Pirámide del Sol-El descubrimiento de un túnel bajo la Pirámide del Sol de Teotihuacana facilita la búsqueda de cavidades ocultas en este monumento arqueológico mediante la detección de rayos cósmicos. *Investigación y Ciencia: Edición Española de Scientific American*, (372), 62-71.

ALMAGRO GORBEA, M^a. J. (1986). Las ánforas de la antigua Baria (Villaricos). En *G. DEL OLMO y M.E. AUBET* (Eds): Los fenicios en la Península Ibérica, Sabadell, 1986, vol. II, pp. 265-283.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

ALONSO PONGA, J. L. (1994). *La arquitectura del barro*. Valladolid: Junta de Castilla y León - Consejería de Cultura y Turismo. B., S. (2004). Construcciones sociales con adobe en un barrio rural cubano. (E. Universitaria, Ed.) Habana.

ALONSO RODRÍGUEZ, F. J.; FERNÁNDEZ-CRESPO, M. y CARRIZO, L. (2010). Caracterización petrográfica de morteros del conjunto medieval de la ciudad de Oviedo. En *Trabajos de geología. Universidad de Oviedo*. (30), pp. 337-349.

ALTUNA, J. (1995). Visió històrica de l'arqueozoologia a la Península Ibèrica. En *Cota Zero*, 11: pp. 8-12.

ALVA-BALDERRAMA, A. (2003). De la arquitectura de tierra y la conservación de lo que fue la más alta tecnología. En *Feira internacional do património histórico, Coimbra 2003: seminário Património, informação e novas tecnologias*. Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 7-13.

ÁLVAREZ GALINDO, J. I. (1995). Historia de los morteros. En *Boletín del IAPH*, nº13. 1995. pp. 52-59.

ÁLVAREZ PÉREZ, A.; GUZMÁN, E. M. A. y ARROYO, J. B. (2009). El tapial y los morteros de cal en las construcciones históricas de Tiripetío (Morelia, México). En *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía, Macfa* nº.11. XXIX Reunión de la Sociedad Española de Mineralogía. Universidad de Salamanca, Instituto Geológico y Minero de España, CSIC i SEM. Salamanca. pp. 23 y 24.

ANRI (2007). Agencia de Noticias de la República Islámica de Irán (2007). Yazd – Torres del silencio. Recuperado de http://es.irna.ir/turismo-en-iran/ostan/Yazd/yazd_Atractivos.htm

APPOLONI, C. R. y PARREIRA, P. S. (2007). Doze Anos de Atividades em Arte e Arqueometria no Laboratorio de Física Nuclear Aplicada da Universidade Estadual de Londrina. En *Revista Brasileira de Arqueometria, Restauração e Conservação*. Vol.1. nº 06. pp. 301 a 304.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

ARCE SÁINZ, F. (2009). Historia de arte, arqueología de la arquitectura y el telescopio de Galileo. En *Arqueología de la arquitectura*. Nº 6. Madrid. pp. 21-29.

Archaeometry - ARCH, (2015).

Recuperado de [http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/\(ISSN\)1475-4754](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/(ISSN)1475-4754)

ARELLANO, J. F. (2005). De Cancho Roano a La Olmeda: Mil años de construcción con tierra en la Hispania pre-islámica. En *Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, pp. 389-393. Cádiz: S. Huerta, Madrid: I. Juan de Herrera, SEdHC, Arquitectos de Cádiz, COAAT.

ARIZZI, A. y CULTRONE, G. (2012). La influencia de la interface árido-matriz en las propiedades de morteros de cal. En *Macla* nº 16. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía. pp. 60-61.

ARREDONDO, F. (1961). Estudio de materiales. El yeso. E.T.S. Ingenieros y Caminos (Ed). En *Revista Obras Públicas*, Madrid.

ARTEAGA, O., y PARCERISSA J. P. (1990). *E. poblado ibérico del Tossal del Moro de Pinyeres (Batea, Terra Alta, Tarragona)*.

ASENSIO ESTEBAN, J. Á. (1995). Arquitectura de tierra y madera en la protohistoria del Valle Medio del Ebro y su relación con la del mediterráneo. En *Caesaraugusta*, 2, nº 71, 1995, pp. 23-56.

AUZIAS, D. y LABOURDETTE, J. P. (2009). Népal – Bouthan. En *Collectif Petit Futé*.

AZKÁRATE GARAI-OLAUN, A.; CABALLERO ZOREDA, L. y QUIRÓS CASTILLO, J. A. (2002). Arqueología de la Arquitectura: definición disciplinar y nuevas perspectivas. En *Seminario Internacional de Arqueología de la Arquitectura*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas(CSIC). Vitoria-Gasteiz, pp. 7-10.

B

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

BALBÁS, A., DELGADO, S., RECUENTO, J. L. y PAVÍA, S. (2002). Caracterización de morteros. En: Caracterización y restauración de materiales pétreos, Tomo I: Rocas, morteros y ladrillos. Fundación Un castillo, Equipo Arbotante, Dpto. de Geología, Univ. de Zaragoza: 113-145.

BANEGAS, R. S. (2011). Estudos em filmes formados por PVC e agentes plastificantes: estabilidade, morfologia, propriedades térmicas e mecânicas. Máster em química. Orientador: Prof. Dr. Valdir Soldi - Universidade Federal de Santa Catarina.

BANKART, G. P. (1908). *The Art of the Plasterer*. London, UK.

BARBA, L.; BLANCAS, J.; MANZANILLA, L.; ORTÍZ, A.; BARCA, D.; CRISCI, G.; MIRIELLO, D. y PECCI, A. (2009). Provenance of the limestone used in Teotihuacan (Mexico): a methodological approach, *Archaeometry* 51 (4), pp. 525-545.

BARBETA SOLÀ, G. (2002). Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya, España.

BARCELÓ, J. (2007). Arqueología y estadística I. Introducción al estudio de la variabilidad de las evidencias arqueológicas. *En Collecció Materials* 187. Servei de publicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona, Departament de Prehistòria, p. 20.

BARDOU, P. (1981). Arquitecturas de adobe. Editorial Gustavo Gili. Barcelona, España.

BAROJA, J. C. (1998). Sobre la palabra adobe. En *Arquitectura de Tierra: Encuentros Internacionales Centro de Investigación*. Madrid: Ministerio de Fomento. pp.09-10.

BASSEGODA NONELL, J. (1984). Historia de arquitectura. Editores técnicos asociados S. A. Barcelona. p.67

BEDOLLA ARROYO, J. A.; ALONSO GUZMÁN, E. M.; MARTÍNEZ MOLINA, W.; RUBIO AVALOS, J. C.; VELASCO ÁVALOS, F. A.; GUERRERO BACA, L. F. ; MENDOZA JIMÉNEZ, J. y

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

BORBNE LE GALL, S. (2009). Aditivos orgánicos en morteros de cal apagada en la edificación histórica. En *Ciencia Nicolaita*, nº 51, julio de 2009, pp. 153-166.

BERTAGNIN, M. (1998). Recientes Experiencias Didacticas y de Investigación sobre el Adobe. En *Arcquitectura de tierra*. Encuentros Internacionales Centro de Investigación Navapalos (Atti del convegno). Madrid: Ministerio de Fomento, Centro de Publicaciones, pp. 45-51.

BLANCO ROTEA, R. (1998). Las construcciones históricas desde una perspectiva arqueológica: Lectura de paramentos. En Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Lectura de paramentos, A Coruña, pp. 22-24.

BLÁZQUEZ MARTÍNEZ, J. M (1988). Los griegos en la Península Ibérica. Siglos VII-V a.C. Analogías con la colonización griega en el Mar Negro.Colquida. En *Gerión*, Nº Extra 1, 1988 (Ejemplar dedicado a: Homenaje a García Bellido), págs. 9-18.

BONET, H. R.; RUBIO, F. y DÍES, E. (2000). Proyecto de área didáctica y de investigación arquitectónica: La construcción de una casa ibérica en la Bastida de les Alcusses (Moixent, Valencia). En *Saguntum: Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia*, nº Extra 3, pp. 431-439.

BONET, H. R. y MATA PARREÑO, C. (2002). El Puntal delsLlops. Un fortín edetano. En *Trabajos Varios del Servicio de Investigación Prehistórica*. nº 99, Valencia. p.104.

Brookhaven National Laboratory (2015). Recuperado de <http://www.bnl.gov/world/>

BORES GAMUNDI, F. y FREIRE TELLADO, M. (1998). Construcción de tapia en las tierras de Lemos. En *Actas del segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Sociedad Española de la Historia de la Construcción. Universidad A Coruña, p. 181.

BORGES DOS SANTOS, M. R. y RODRÍGUES, R. (2002). Arquitectura de tierra en Brasil: Tradición y Modernidad. En *1er Seminario Exposición: La tierra cruda en la construcción del hábitat*. Asunción, Uruguay. pp. 01-12

British Museum (2015). Recuperado de <http://www.britishmuseum.org/>

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

BREIJO, F. J. G. (2014). Tema 14: Reguladores del crecimiento. Unidad Docente de Botánica. ETSMRE, UPV. Biología y Botánica. Tema 14. Recuperado de <http://www.euita.upv.es/variados/biologia/Temas%20PDF/Tema%2014c%20Reguladores%20del%20Crecimiento.%20Giberelinas.pdf>

BUCIO, E. (2008). Restauran edificios con la baba de nopal. En *Reforma*, 6 de febrero, 2008, Cultura, p. 8.

BURILLO, F. y PICAZO, J. (1986). El poblado del Bronce Medio de la Hoya Quemada (Mora de Rubielos, Teruel). En *Seminario Arqueología y Etnología Turolense*, Colegio Universitario de Teruel.

BUSTAMANTES, P., LIZAMASOBERANIS, B., OLAÍZFERNÁNDEZ, G., y VÁZQUEZMORENO, F. (2001). Ftalatos y efectos en la salud. *Rev. Int. Contam. Ambient*, 17(4), 205-215.

C

CABALLERO, Alejandro Cobos (2008). Basti ibérica. En *1er Congreso Internacional de Arqueología Ibérica Bastetana* (A. M.^aAdroherAuroux, J. Blánquez Pérez, eds.), Varia9, Universidad Autónoma de Madrid: Universidad de Granada, Madrid, 2008, pp. 299-315.

CABALLERO, A. C.; ADROHER, A. M.; RAMÍREZ, M.; SALVADOR, J. A.; SÁNCHEZ, L. (2013). *Nueva tumba, de inhumación infantil, en la necrópolis ibérica de Cerro del Santuario (Baza, Granada): resultados preliminares*. *Bastetania 1*, Baza, 115-131.

CABRERA, J. L.; FERNÁNDEZ COLLAZO, Y.; GONZÁLEZ RAMÍREZ, N. y BERMÚDEZ VALLES, S. (2000). Morteros a base de suelos. Caracterización. En *Materiales de Construcción*, 50(258), 67-72.

CALAMA RODRÍGUEZ, J. M. y CAÑAS PALOP, C. (2005). El conocimiento de las técnicas constructivas tradicionales como base fundamental para la recuperación de elementos arquitectónicos: aplicación a un caso de armadura de cubierta. En *Actas del Cuarto Congreso*

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Nacional de Historia de la Construcción, Cádiz, 27-29 enero 2005, ed. S. Huerta, Madrid: I. Juan de Herrera, SEdHC, Arquitectos de Cádiz, COAAT Cádiz, 2005, pp. 165–170.

CALZA, C. (2007). Desenvolvimento de sistema portátil de Fluorescência de raios X com aplicações em arqueometria 2007. 163 f. Tese Doctoral (Ciências em Engenharia Nuclear) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

CAMPAÑÁ, M. O. (enero de 2014). CATapia. La arquitectura de tapia en Cataluña. Conocimiento, reivindicación y restauración. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de València.

CAMPOS SUÑOL, M^a J. y TORRE LÓPEZ, M^a J. (2006). Caracterización de los Materiales de Construcción y de los Procesos de Deterioro en los Edificios Históricos. *Casos de Estudio en la Provincia de Jaén. Programa de Doctorado "Geología Ambiental y Recursos Naturales"*. Departamento de Geología. Universidad de Jaén. pp. 1-8.

CAPEL MARGARITO, M. (1977). Aplicación de métodos analíticos al estudio de los sedimentos del yacimiento Cerro de la Encina. En *Cuadernos de prehistoria y arqueología de la Universidad de Granada. N° 2*, pp. 321-347.

CÁRDENAS, A.; ARGUELLES, W. M. y GOYCOOLEA, F.M. (1998). On the possible role of Opuntiaficus-indicamucilage in lime mortar performance in the protection of historical buildings. En *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, núm. 3, pp. 64-71.

CÁRDENAS GARCIA, E. (2008). Método para el análisis espacial de sitios prehispánicos. Estudio de caso: el Bajío. *Palapa*. Universidad de Colima. México. Vol. III, N°. I, enero-junio, pp. 5-16.

CASINELLO PLAZA, M. J. (2006). Influencia del espesor de la junta de mortero en la deformabilidad de las fábricas pétreas medievales. En *Materiales de Construcción*. Vol. 56, n° 284, pp. 69-90.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

CASTAÑO, D. B., y FONS, J. D. (2004). Espacio religioso y/o espacio de poder: Yacimiento protohistórico del " El Turó del Calvari" (Vilalba dels Arcs, Terra Alta, Tarragona). In *Actas del XXVII Congreso Internacional Girea-Arys IX: " Jerarquías religiosas y control social en el mundo antiguo": Valladolid, 7-9 de noviembre 2002*, pp. 51-62, Secretariado de Publicaciones e Intercambio Editorial.

CASTILLA PASCUAL, F. J. (2004). Estabilización de Morteros de Barro para la Protección de muros de Tierra. Tesis Doctoral. Dirigida por Luis Maldonado Ramos. Departamento de construcción y tecnología arquitectónicas. Escuela técnica superior de arquitectura. Vol. I y II. Madrid.

CASTRO, S. D.; COOPER, M.; SANTOS, M. C. VIDAL-TORRADO, P. CURI, N.; MARQUES, J., ... y ALVAREZ, V. V. H. (2003). Micromorfología do solo: bases e aplicações. En *Tópicos em ciência do solo*, 3.

CASTRO MARTÍNEZ, P.; CHAPMAN, R. W.; GONZÁLEZ MAR-CÉN, P.; LULL, V.; MICÓ, R.; PICAZO, M.; ... y SANAHUJA, M. E. (1999). Proyecto Gatas 2. La dinámica Arqueológica de la ocupación prehistórica. *Monografías Arqueológicas, Sevilla*.

CERDÁN, D. N., IBÁÑEZ, R. G., y VICENTE, E. B. (1993). Arquitectura Tradicional de la Manchuela. Zahora. En *Revista de Tradiciones Populares*, 53.

CHANGEUX, J. P. (2010). Sobre lo verdadero, lo bello y el bien: Um enfoque neuronal. Kats, Madrid, p. 242.

HAZELLES, C.A. (2000). Les techniques de construction protohistoriques en Gaule méridional.(pp. 11-26). En *Actes de la I Reunión Internacional d'Arqueologia de Callafell*.

CHIAPPERO, R. O. y SUPISICHE, M. C. (2006). Arquitectura de tierra cruda. Nobuko. Buenos Aires, Argentina. p. 13.

CHIARADIA, M. C.; COLLINS, C. H. y JARDIM, I. C. S. F. (2008). O estado da arte da cromatografia associada à espectrometria de massas acoplada à espectrometria de massas na análise de compostos tóxicos em alimentos. En *Química nova*, 31(3), pp. 623-636.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

CHIAYAZZA, H. y ANZORENA, J. (2005). Estudio de materiales constructivos obtenidos en las excavaciones arqueológicas del predio de los mercenarios. Capítulo 5, pp. 211-262.

CHUVIECO, E.S. (1996). *Fundamentos de Teledetección espacial*. Madrid. Ediciones RIALP, 568p.

CID FALCETO, J.; RUIZ MAZZARRON, F. y CAÑAS GUERRERO, I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. En *Informes de la Construcción*, Vol. 63, nº 523 (2011), pp. 159-169.

COLODRÓN, I.; ORCHE, E.; CABAÑAS, I.; GRANADOS, L.; MARTÍNEZ, C.; QUINTERO, I.; MANSILLA, H.; NODAL, T.; BRETONES, R. Y QUESADA, C. (1980). *Memoria y hoja geológica nº 444 (Flix)*. Mapa geológico de España. E = 1:50.000. I.G.M.E. Madrid.

COMERLATO, F. (2012). A Baleia como Recurso Energético no Brasil. En *Anais do Simpósio Internacional de História e Migrações*. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. ISSN 2178-5112.

CONDAMIN, J., FORMENTI, F., METAIS, M. O., MICHEL, M., & BLOND, P. (1976). The application of gas chromatography to the tracing of oil in ancient amphorae. En *Archaeometry*, 18(2), pp. 195-201.

CONSUEGRA, L. L.; RODRÍGUEZ, A. V.; FUENTES, M. T. (2012). **Estudio del Surgimiento y Desarrollo de los Morteros en la Construcción. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"**. Autopista Matanzas-Varadero km 3 y ½, Matanzas, Cuba.

COOPER, E. (1999). *Historia de la Cerámica*. CEAC. Barcelona, p. 13.

CORDERO RUIZ, T.; GARCÍA SANUÁN, L.; HURTADO PÉREZ, V.; MARTÍN RAMÍREZ, J. M.; POLVORINO del RÍO, A. y TAILOR, R. (2006). La arqueometría de materiales cerámicos: una evaluación de la experiencia andaluza. En *Trabajos de prehistoria*, Vol. 63, nº 1. 2006. pp. 9-35.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

CORNELIS, K. y HURLBUT, C. (2008). *Manual de mineralogía* - basado en la obra de J. D. Dana. Barcelona. Editorial Reverté.

CORREIA, M. (2006). Universalidade e Diversidade da Arquitectura de Terra. En: *Terra: Forma de Construir. Arquitectura, Antropología, Arqueología* (pp. 12-19). Lisboa: Argumentum e Escola Superior Gallaecia.

CORREIA, M. (2007). Taipa no Alentejo: Rammed Earth in Alentejo. En *Argumentum*. Lisboa.

COVARRUBIAS OROZCO, S. (1611). Tesoro de la lengua Castellana o española. En *Criticon*, nº 54. 1992. Madrid. pp. 127-144.

CRADDOCK, P. (1991). The emergence of scientific inquiry into the past. En *Science and the Past*, British Museum Press, Sheridan Bowman (ed.), Londres, pp. 9-15.

CULTRONE, G.; CAZALLA, O.; RODRÍGUEZ, C.; DE LA TORRE; M. J. y SEBASTIÁN, E. (2005). Técnicas no destructivas aplicadas a la conservación del patrimonio arquitectónico. Colorimetría. En *PH Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*. Nº 53, pp. 6-10.

CULTRONE, G; DE ROSA, B; RENDELI, M. (2011). Estudio arqueométrico y tecnológico de la **cerámica procedente del poblado nurágico de Sant'Imbenia (Cerdeña, Italia)**. En *XVIII Congreso Internacional, Conservación y Restauración de Bienes Culturales*, Libro de Actas, Granada, p. 451-454.

CUNHA, S. S., FERNANDES, J. O., OLIVEIRA M. B.P.P. (2006). Quantification of free and esterified sterols in Portuguese olive oils by solid-phase extraction and gas chromatography–mass spectrometry. En *Journal of Chromatography A*, volume 1128, Issues 1-2, pp. 220-227.

D

DANEELS, A. y GUERRERO, L. (2012). La Joya, Veracruz, un sitio prehispánico construido con tierra: sistemas constructivos y pruebas de preservación en trópico húmedo. En *Intervención (México DF)*, 3(6), pp. 34-43.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

DANEELS, A. y KITA, Y. (2015). Evaluación de aditivos orgánicos para intervención de la construcción prehispánica en tierra del sitio arqueológico de La Joya, Veracruz, México, a través de experimentos en el sit... En: *14º SIACOT*, San Salvador, El Salvador. Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra. 24 y 28 de noviembre de 2014. ISBN: 978-99923-880-4-4..

del PINO, J. M. J. y PIUSSEAUT, E. T. (2013). Consideraciones acerca de la actividad de las arcillas en la estabilización de suelos con sales cuaternarias de armonio. *Revista Arquitectura e Ingeniería*, 7(3), pp. 4-12.

DETHIER, J. (1986). *Arquitecturas de Terra ou o futuro de uma tradição milenar*. Avenir Ed.

DETHIER, J. (1993). *Arquitecturas de terra: trunfos e potencialidades de um material de construção desconhecido: Europa, terceiro mundo, Estados Unidos*. Fundação Calouste Gulbenkian.

DÍAS-MARTÍNEZ, E. y RODRIGUES ARANDA, J. P. (2007). Itinerarios geológicos en la comunidad de Madrid. En *Colección guías geológicas*. Instituto Geológico y Minero de España. p. 170.

DÍES-CASCÓN SAGRADO, J. y BUENO HERNÁNDEZ, F. (2001). *Ingeniería de presas: Presas de fabrica*. Universidad de Cantabria.

DÍES CUSÍ, E. (2001). La influencia de la arquitectura fenicia en las arquitecturas indígenas de la Península Ibérica (S.VII–VII). En *Arquitectura Oriental y Orientalizante en la Península ibérica*, Instituto de Historia. CSIC, pp. 69-122.

DIPASQUALE, L. y JORQUERA, N. (2010). El Patrimonio de las Falsas Cúpulas de Tierra del Norte de Siria. En *IV Congreso Internacional Patrimonio Cultural y Cooperación al Desarrollo*. Comité Científico del IV Congreso de Patrimonio Cultural y Cooperación al Desarrollo. pp. 91-98.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

DORREGO, F; LUXÁN, MP; SOTOLONGO, R. (1998). Los Trabajillos: Origen, Utilización y Técnicas de Preparación. En *Actas del II Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, A Coruña, pp. 145-150.

DRECHSEL, D.; DETTMER, K.; y ENGEWALD, W. (2003). Studies of Thermally Assisted Hydrolysis and Methylation -GC-MS of FattyAcids and Triglycerides Using Different Reagents and Injection Systems. En *Chromatographia* 2003, 57 suppl S-283-S289.

DRLE (2010). *Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española*. Recuperado de http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=adobe

DUERI, P. (2010). Cultura e identidad del Patrimonio edificado con adobe en los valles cochabambinos. En *Arquitectura y Construcción con tierra*. Cochabamba, Bolivia. pp. 1-8.

E

ELLIS, M. (1969). *A baleia no Brasil Colonial*. São Paulo: Melhoramentos.

ESPINAR MORENO, M. (2000). Materiales y sistemas constructivos de la provincia de Granada en los siglos XV y XVI. En *Gazeta de Antropología n° 16*, artículo 20.

ETMADOBE (2010). Etimología de Adobe. Recuperado de <http://etimologias.dechile.net/?adobe>

EUFEMIA SOSA, Mirta (2003). Construcción con tierra cruda. Sistemas de entramado. Técnicas mixtas tradicionales del noroeste argentino. En *Habyted Cytred Proterra - Proyecto XIV.6*, pp. 73-88

EVERSHED, R. P., HERON, C., y GOAD, L. J. (1990). Analysis of organic residues of archaeological origin by high-temperature gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry. *Analyst*, 115(10), pp. 1339-1342.

F

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Fine Arts Museum de Boston – FAMB (2010). Recuperado de <http://www.mfa.org/>

FAO/ ONU, (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo*. Servicio de Manejo de las Tierras y de la Nutrición de las Plantas. Traducción de Francis Shaxson y Richard Barber. Roma, Italia.

FAO/ ONU (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Proyecto FAO/ONU-SWALIM. 4ª edición. Traducción de Ronald Vargas Rojas. Roma, Italia.

FATÁS FERNÁNDEZ, L. y CATALÁN GARZARÁN, S. (2005). La construcción con tierra en la protohistoria del Bajo Aragón: El caso de San Cristóbal de Mazaleón. En *Salduie: Estudios de prehistoria y arqueología*, nº. 5, pp. 131-141.

FERNÁNDEZ, C. (2006). La arqueozoología en el noroeste de la Península Ibérica: historia de las investigaciones. En *Munibe. Antropología-Arkeología*. 2005-2006, 57(1), pp.511-523.

FERNÁNDEZ, F. P. y SALCEDO, J. M. (2007). Avance de catálogo y normas de protección del patrimonio. Plan general de ordenación urbanística. Recuperado de <http://www.orce.es/es/pgou/AVANCECATALOGOPATRIMONIO.pdf>

FERREIRA, M. M. C., ANTUNES, A. M., MELGO, M. S., y VOLPE, P. L. O. (1999). Quimiometria I: calibração multivariada, um tutorial. En *Química Nova*, 22(5), 724-731.

FERREIRA, C. C. (2012). A sustentabilidade do sistema construtivo em terra: um projecto de reabilitação. Master Arquitectura. Universidad da Beira Interior.

FERRER GARCÍA, C. (2010). Los adobes y la arquitectura del barro en la Bastida de les Alcusses (Moixent, Valencia). En *Archivo de prehistoria levantina*, vol. XXVIII, Valencia, pp. 273-300.

FERRER MORALES, A. (1998). La pintura mural: Su soporte, conservación, restauración y las técnicas modernas. Universidad de Sevilla, p.50

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

FIGOLS GONZÁLEZ, M. (2006). Arquitectura técnica, Estudio e Investigación sobre Construcción Rurales con Tierra. Zaragoza: Universidad de Zaragoza. Recuperado de [hes.scribd.com/doc/39867719/Construcciones-Rurales-Con-Tierra](https://www.scribd.com/doc/39867719/Construcciones-Rurales-Con-Tierra).

FLEMING, J. y HONOUR, H. (2004). *Historia mundial del arte*. Ediciones Akal, Madrid pp. 46-48.

Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico – FONDECYT (2015) recuperado de <http://www.fondecyt.cl/578/channel.html>

FONS, J. D., CASTAÑO, D. B., y CANALS, A. V. (2005). El Turó del Calvari (Vilalba dels Arcs, Terra Alta). Un edifici cultural de la primera edat del ferro al curs inferior de l'Ebre. En *Tribuna d'arqueologia*, (2002), pp. 23-52.

FONSECA, P. (2004). Como castillo de arena. En *revista dominical de arqueología*. Recuperado de <http://www.nacion.com/dominical/2004/enero/11/dominical2.html>

FONT i MEZQUITA, F. y HIDALGO i CHULIO, P. (1991). *El tapial: una técnica constructiva milenaria*. Colegio de Aparejadores de Castellón.

FONT, F. M., y HIDALGO, P. i. (julio-setiembre de 2011). La Tapia En España. Técnicas Actuales Y Ejemplos. En *Informes de la Construcción*, 63, 523, 21-34.

FRANCOVICH, Ricardo y MANACORDA, Daniele (2002). *Diccionario de arqueología: Temas, conceptos y metodos*. Ed. Critica, Barcelona, pp.25-30.

FUENTES GARCÍA, R. M^a (2010). Construcciones de tierra. El Tapial. Nuevo sistema para construcción y restauración mediante la técnica de "Tierra Proyectada". Tesis doctoral. Universidad de Granada.

G

GACIO, David García (2013). Caracterización química de la fracción orgánica de la materia particulada atmosférica (PM10 Y PM2,5) en entornos urbano, industrial y suburbano. Tesis Doctoral. Departamento de Química Analítica. Universidad da Coruña.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

GALLEGOS VARGAS, H. y CASABONNE RASSELET, C. (2005). *Albañilería Estructural*. 3ª Edición. Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial. Lima.

GAMA-CASTRO, J. E.; CRUZ y CRUZ, T.; PI-PUIG, T.; ALCALÁ-MARTÍNEZ, R.; CABADAS-BÁEZ, H.; JASSO-CASTAÑEDA, C.; ... y VILANOVA DE ALLENDE, R. (2012). Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. En *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Vol 64, nº 2, 2012, pp. 177-188.

GAÑÁN MEDINA, C. (1999). Técnicas y evolución de la imaginería policroma en Sevilla. En *Serie Manuales Universitarios*, nº 46. Universidad de Sevilla. p. 100.

GÁRATE ROJAS, I. (2002). Artes de la cal. Munilla-Lería, Madrid, 415 pp. 70-72.

GARCÍA HERAS, M. (2003). Malos tiempos para la lírica. ¿Hay todavía futuro para la arqueología científica en la universidad española? En *Complutum*, 14 pp. 7 a 18.

GENERA, M. (1984). El jaciment de Barrugat: noves dades per al coneixement de la Tortosa d'època romana. En *Pyrenae*, 19-20 pp. 287-288.

GENERA, M., BAUCCELLS, M., LACORT, G., & ROURE, M. (1985). L'economia protohistòrica: Aspectes de la metal·lúrgia al Priorat i a la Ribera d'Ebre, II Reunió d'economia antiga de la Península Ibèrica. En *Pyrenae*, Barcelona, 21, 45-46.

GENERA, M. (1986). Els pobles dels Camps d'Urnes al sud de Catalunya: l'establiment del Puig Roig (el Masroig, Priorat). En *Tribuna D'arqueologia* 1985/86. Generalitat de Catalunya. Departament de Cultura. Direcció General del Patrimoni Artístic. Servei d'arqueologia. Barcelona. pp. 53-61.

GENERA, M. (1994). Sant Miquel de Vinebre (Vinebre, Ribera d'Ebre): els darres vestigis ibèrics a la part final de l'Ebre. En *Tribuna D'arqueologia* 1992/93. Generalitat de Catalunya. Departament de Cultura. Direcció General del Patrimoni Artístic. Servei d'arqueologia. Barcelona. pp. 85-94.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

GENERA, M. (1995). El poblament protohistòric de Puig Roig del Roget (El Masroig, Priorat). En *Memòries d'Intervencions Arqueològiques a Catalunya* 17, Barcelona.

GENERA, M. y JÁRREGA DOMÍNGUEZ, R. (1999). Noves dades sobre la Dertosa Romana: un fragment de sigil-lata africana C decorada amb motlle. En *Quaderns de prehistòria i arqueologia de Castelló* (20), pp. 247-252.

GENERA, M. y BRULL, C. (2002). La adecuación de yacimientos arqueológicos: una vía de protección y difusión del patrimonio cultural. Su aplicación en asentamientos protohistóricos en el tramo final del valle del Ebro. En *Bolskan: Revista de Arqueología del Instituto de Estudios Altoaragoneses*, nº 19, 2002, pp. 393-403.

GENERA, M (2005). **Disseny i planificació del sistema defensiu a l'establiment de sant Miquel de Vinebre (Ribera d'Ebre).** En *Tribuna D'arqueologia 2002/3*. Generalitat de Catalunya. Departament de Cultura. Direcció General del Patrimoni Artístic. Servei d'arqueologia. Barcelona. pp. 95-116.

GENERA, M (2006). **El Pas de l'Ase (la Ribera d'Ebre). De la investigació a la museització d'un conjunt d'interès històric i paisatgístic.** En *Tribuna D'arqueologia 2004/5*. Generalitat de Catalunya. Departament de Cultura. Direcció General del Patrimoni Artístic. Servei d'arqueologia. Barcelona. pp. 123-156.

GENERA, M. (2006b). Patrimoni arqueològic i medi natural: propostes de protecció integral en jaciments del Riberal de l'Ebre. En *Tribuna D'Arqueologia*. 2003-2004. Generalitat de Catalunya. Departament de Cultura. Direcció General del Patrimoni Cultural. Barcelona. pp. 269-299.

GENERA, M y JÁRREGA DOMÍNGUEZ, R. (2009). *Aproximació a la Dertosa Romana*. Resultats de les investigacions arqueològiques al solar de la Costa dels Capellans, núm. 5. Tortosa (el Baix Ebre). Ed. Margarida Genera i Monells

GENERA, M.; TERRADO, E. O. y LORENZO, J. N. (2010). Datos para una aproximación a las prácticas culinarias en la antigua ciudad de Dertosa: El solar de la Costa dels Capellans núm.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

5, Tortosa (BaixEbre). En *Saguntum: Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia*, n^o Extra 9 pp. 258-263.

GENERA, M. (2011). Investigación y Arqueología experimental. La preparación de los adobes y otros elementos de barro en el yacimiento protohistórico del Puig Roig del Roget, el Masroig, Tarragona. En *La Investigación Experimental Aplicada a la Arqueología*. Ed Antonio Morgado, Javier Baena Preysler y David García Gonzalez. Universidad de Granada y Universidad Autónoma de Madrid. Madrid. pp. 319-323.

GENERA, M. y JÁRREGA DOMÍNGUEZ, R. (2010). *Aproximació a L'AgerDertasanus: La Villa romana de Barrugat, Bítum, Tortosa (El BaixEbre)*. Resultats de les investigacions de l'any 1984. Ed. M. Genera i Monells.

GENERA, M. (2010). L'establiment del Puig Roig del Roget, el Masroig (SS. X-VI aC): Apunts sobre alimentació i **dieta d'un grup d'antics miners i metal·lúrgics** de la Conca del Priorat. En SAGVNTVM Extra. Vol. 9, pp. 243-248.

GIL RODRIGUES, J. L. (2008). Estado Actual de la Representación y Análisis de Textura en Imágenes. *Reporte Técnico RT_004*. RNPS No. 0551. Reconocimiento de Patrones. Serie Azul. CENATAV. Septiembre. La Habana, Cuba.

GOLDFINGER, M. (1995). *Arquitectura popular mediterránea*. Editorial Gustavo Gili. Barcelona.

GOMÁ, F. (1979). *El cemento Portland y otros aglomerantes*. Editores Técnicos Asociados S.A. Barcelona. p. 64.

GOMES DE AMORIM, C. L. (2007). Estudo do Efeito das Interações água-Argila no Inchamento de Argilominerais através da Difração de Raios X. Tesis Doctoral, Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia Nuclear. Rio de Janeiro, 2007.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

GONÇALVES SILVA, A. M. B. y ROBADOR GONZÁLEZ, M^a D. (2006). Tierra y Cal. Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla. En *Segundas Jornadas sobre Investigación en Arquitectura y Urbanismo*. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès. Sant Cugat del Vallès (Barcelona), 21, 22 y 23 de septiembre de 2006, pp 1 a 15.

GONZÁLEZ, A. G.; BARROSO, J. T.; CARDONA, R. J.; MEDINA, J. M.; RODRÍGUEZ LUIS, F. (1971). Distribución de antraquinonas y compuestos naftalénicos relacionados en rubiáceas, bignoniáceas y verbenáceas 1971 *Anales de la Universidad de La Laguna* 9: pp. 4-22 (1971)

GONZÁLEZ, E. M^a G. M. (2012). Estructuras funerarias de la necrópolis ibérica de Cerro del Santuario (Baza, Granada). Máster - Inédito, Universidad de Granada, 2012.

GONZÁLES CORTINA, M. (2000). Recuperación de morteros romanos de cal y chamota en aplicaciones actuales. Tesis Doctoral. Dirigida por Luis de Villanueva Domínguez. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. (UPM). Madrid, España.

GONZÁLES CORTINA, M. y VILLANUEVA DOMÍNGUEZ, L. (2002). Morteros hidráulicos de cal y chamota. En *Materiales de construcción*, n^o. 266, 2002, pp. 65-76.

GOODWAY, M. (1991). Archaeometallurgy: evidence of a paradigm shift?. En *MRS Proceedings* (Vol. 185, p. 705). Cambridge University Press.

GORDILLO, J. F. R. (2005). Morteros como Elementos de Estudio en Arqueología-Arqueometría Medieval. En *Arqueometría y Arqueología Medieval*. pp. 171-192.

GRACIANI GARCÍA, A. (2001). La técnica de la Arquitectura Medieval. Secretariado de Publicaciones Universidad de Sevilla, p. 235.

GRACIANI GARCÍA, A. (2006). Casas señoriales en tapial de la Sevilla (España) del Quinientos. Casas de Miguel de Mañara y de Calle San José. En *Construir con Tierra Ayer y Hoy*. Actas del V SIACOT. Mendoza (Argentina).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

GRACIANI GARCÍA, A. y TABALES RODRIGUEZ, M. Á. (2008). El tapial en el área sevillana. Avance cronotipológico estructural. En *Arqueología de la Arquitectura*. nº 5, enero-diciembre 2008. Madrid. pp. 135-158.

GRAY, M. (2007). Bam and its cultural landscape. En *Unesco – culture*. Recuperado de <http://whc.unesco.org/en/list/1208>

GRIMA, R. L. (2004). Efectos de la exposición laboral a ftalatos. En *Prevención: Revista técnica de seguridad y salud laborales*, (168), 34-41.

GUERRERO BACA, L. F. (2011). Pasado y porvenir de la arquitectura de tapia. Facultad de Arquitectura. En *Bitacora Arquitectura*, UNAM, nº 22, México, pp. 6-13.

GUILLAUD, H. y HOUBEN, H. (1989). *Traité de Construction en Terre*. Parenthèses.

GUILLAUD, H. (2003). An approach to the evolution of earthen building cultures in Orient and Mediterranean regions. En *AL-RĀFIDĀN*, Vol XXIV.

GUTIÉRREZ, A. P. (2010). *La espectroscopia NIR en la determinación de propiedades físicas y composición química de intermedios de producción y productos acabados*. Tesis Doctoral. Director Dr. Marcelo Blanco Romía. Departamento de Química. Universidad Autónoma de Barcelona.

H

HANSEN, E. F.; HANSEN, R. D. y DERRICK, M.R. (1994). Los análisis de los estucos y pinturas arquitectónicas de Nakbe: Resultados preliminares de los estudios de los métodos y materiales de producción. En *VIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*, Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala. pp. 456-470.

HIGHAM, C. (1990). *Los primeros agricultores y las primeras ciudades*. Ediciones Akal, Madrid, p. 15.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

HOZ ONRUBIA, M. L. y VELA-COSSÍO, F. (2003). Diccionario de construcción tradicional: Tierra. Nerea S.A., San Sebastián, pp. 82-83.

HULL, D. (2003). Materiales compuestos. Reverté, Barcelona, p. 01.

I

IAPH (2015). Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico. Qué es patrimonio cultural. Recuperado de http://www.iaph.es/export/sites/default/galerias/patrimonio-cultural/documentos/gestion-informacion/que_es_patrimonio_cultural.pdf

Instituto de Estudios Avanzados de Princeton (2015). Recuperado de <http://www.princeton.edu/main/>

IFUNAM (2015). Laboratorio de Arqueometría del Instituto de Física de la UNAM. Recuperado de <http://www.fisica.unam.mx/>

ImageJ (2012). *ImageJ*, 2012. Recuperado de <http://rsbweb.nih.gov/ij/index.html>

INPC (2010). Instituto Nacional del Patrimonio Cultural Las técnicas analíticas nucleares y el patrimonio cultural. *Serie Estudios*.. Quito, Ecuador.

Instituto del Patrimonio Cultural de España (2015). Recuperado de <http://ipce.mcu.es/>

J

JARAMILLO MORILLA, A.; LIÑAN, C. R.; de JUSTO ALPAÑÉZ, J. L.; HERMÁNDEZ, R. R. y GÁLVEZ, F. P. (2000). Características de los muros antiguos de Sevilla. En *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Sevilla, octubre 2000, eds. A. Graciani, S. Huerta, E. Rabasa, M. Tabales, Madrid: I. Juan de Herrera, SEdHC, U. Sevilla, Junta Andalucía, COAAT Granada, CEHOPU, 2000, pp. 26-28.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Journal of Archaeological Science (2015).

Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/journal/03054403>

JOURDAIN, P. (2011). La Vida De Las Cosas. Un Estudio Antropológico Sobre El Material De Construcción Tradicional Adobe. Tesis de Máster. Universidad Complutense de Madrid.

K

KANAN, M^a I. y POLLI J. (2006). Tipologias arquitetônicas tradicionais no Vale do Itajaí, Santa Catarina, Brasil: Diretrizes para futuros projetos de preservação das técnicas construtivas em terra crua. En *Terra Brasil 2006. I Seminário de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil. Ouro Preto, Minas Gerais & IV Seminário Arquitectura de Terra em Portugal*, pp. 1-9.

KANAN, M. I. C. (2008). *Manual de Conservação e Intervenção em Argamassas e Revestimentos à Base de Cal*. Cadernos Técnicos 8. IPHAN/ Programa Monumenta, Brasília.

KERPEL, D. M. (2007). *Análisis de la técnica pictórica prehispánica: el templo rojo, Cacaxtla*. Recuperado de <http://www.posgrado.unam.mx/publicaciones/omnia/anteriores/20/07.pdf>

KUSHAWAHA, S. P. S.; KUNTZ, S. y OESTEN, G. (1994). Applications of image texture in forest classification. International. En *Journal of Remote Sensing*, 15(11):2273-2284.

L

Laboratorio de Arqueozoología de la Universidad Autónoma de Madrid (2015).

Recuperado de www.uam.es/departamentos/ciencias/biologia/arqueozoo/

Laboratorio de Física nuclear Aplicada de la Universidade Estadual de Londrina - LFNA/UEL (2015). Recuperado de <http://www.fisica.uel.br/gfna/>

LARQUEOC, (2015). Laboratorio de Arqueometria de Occidente. Mexico. Recuperado de www.geofisica.unam.mx/divulgacion/notas/prensa/files/pdf/mimorelia18112009.pdf

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

LARQUEOC (2010). Laboratorio de Arqueometría do Occidente. Historia de la Arqueometría en México En: UGM, R. A. (Ed.), 2008.

Lawrence Berkeley Laboratory (2015). Recuperado de <http://www.lbl.gov/>

LEUTE, U. (1987). Archaeometry. An Introduction to Physical Methods. En *Archaeology and the history of art*, VCH, New York.p.2.

LIBEROTTI, G. y DANEELS, A. (2012). Adobes en arquitectura monumental: análisis químico-físicos, arqueología y reconstrucción 3D para determinar las técnicas constructivas en los sitios de La Joya (México) y Arslantepe (Turquía). En *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Vol 64, núm. 1, 2012, p. 79-89.

LÓPEZ-ARCE, P. (2012). Caracterización de ladrillos históricos. En *La conservación de los geomateriales utilizados en el patrimonio*. Madrid: Programa Geomateriales, 2012, p. 75-84.

LÓPEZ CASTRO, J. L., MARTÍNEZ HAHNMÜLLER, V.; MOYA COBOS, L. y PARDO BARRIONUEVO, C. (2011). Baria I. Excavaciones arqueológicas en Villaricos. La excavación de urgencia de 1987. Editorial Universidad de Almería. Serie: Fuera de colección.

LÓPEZ GARCÍA, P.; LÓPEZ SAÉZ, J. A. y MACÍAS ROSADO, R. (2002). La Paleopalinología en el Laboratorio de Arqueobotánica del Departamento de Prehistoria. Instituto de Historia, CSIC: 1977-2002. En *Trabajos de Prehistoria*, Vol. 59, nº 1, pp. 143-156.

LÓPEZ-MANZANARES, F. V.; MILETO, C.; CRISTINI, V., GARCÍA SORIANO, L., y GARCIA SAEZ, S. (2011). Técnicas constructivas autóctonas en tierra: la arquitectura tradicional de la llanura panónica. *Arché*, (6), 315-322.

LLOPIS VERDÚ, J.; CRESCENZI, C.; BARROS DA ROCHA; COSTA, H. A.; GARCÍA CODOÑER, Á., TORRES BARCHINO, A. M.; SERRA LLUCH, J. D. R., y HIGÓN CALVET, J. L. (2011). La arquitectura excavada en el mediterráneo. El proyecto CHRIMA. *Arché*, (6), 75-86.

LOURENÇO, P.; BRITO, J. y BRANCO, F. (2002). Novas tecnologias na aplicação de terra crua na construção. En *Companhia de Arquitectura e Design, Lisboa*, pp. 2- 8.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

M

McNAIR, H. M. (1997). Current and future status of separation science. *American laboratory*, 29(12), 10-13.

MAGALONI, D. (1998). El arte en el hacer: técnica pictórica y color en las pinturas de Bonampak. En *La pintura mural prehispánica en México*. II. UNAM, pp. 49-80.

MAGRO MORO, J. V. y MARÍN SÁNCHEZ, R. (1999). La construcción en la Baja Edad Media. Universidad Politécnica de Valencia, p. 81.

MALDONADO, A.; RIBA, O.; ORCHE, E.; COLOMBO, F. y PORTA, J. (1979). *Memoria y mapa geológico n° 522 (Tortosa)*. Mapa geológico de España. E = 1:50.000. I.G.M.E. Madrid.

MALDONADO, L. y VELA-COSSÍO, F. (2011). El patrimonio arquitectónico construido con tierra. Las aportaciones historiográficas y el reconocimiento de sus valores en el contexto de la arquitectura popular española. En *Informes de la Construcción*, Vol. 63, 523, pp. 71-80.

MALDONATO RONDÓN, E. y CHIO CHO, G. (2009). Estimación de las funciones de vulnerabilidad sísmica en edificaciones en tierra. En *Ingeniería y Desarrollo*, n° 25, Enero-Junio, pp. 180-199.

MANNONI, T. (2005). Arqueología, Arqueometría e Historia de la Cultura Material. En *Arqueometría y Arqueología Medieval*. Grupo de investigación "Toponimia, historia y arqueología del Reino de Granada, pp. 17-35.

MANZANO, E., RODRIGUEZ-SIMÓN, L. R., NAVAS, N., CHECA-MORENO, R., ROMERO-GÁMEZ, M., & CAPITAN-VALLVEY, L. F. (2011). Study of the GC-MS determination of the palmitic-stearic acid ratio for the characterisation of drying oil in painting: La Encarnación by Alonso Cano as a case study. En *Talanta*, 84(4), 1148-1154.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

MANZANO, E., GARCÍA, A., ALARCÓN, E., CANTARERO, S., CONTRERAS, F., & VÍCHEZ, J. L. (2015). An integrated multianalytical approach to the reconstruction of daily activities at the Bronze Age settlement in Peñalosa (Jaén, Spain). En *Microchemical Journal*, 122, 127-136.

MARAVELAKI-KALAITZAKI, P.; BAKOLAS, A. y MOROPOULOU, A. (2003). Physico-chemical study of Cretan ancient mortars. *Cement and Concrete Research*, 33(5), 651-661.

MARÍN SÁNCHEZ, R. (2000). La construcción Griega y Romana. Universidad Politécnica de Valencia, p. 130.

MARTÍN, F. M. (1996). *Degradación y conservación del Patrimonio Arquitectónico*. Editorial Complutense. Madrid. ISBN: 84-89365-84-9, p.181.

MARTÍN DE LA CRUZ, J. (2011). Arqueometría: su futuro en Andalucía. En *La Tutela del Patrimonio Prehistórico*. Consejería de Cultura., pp. 113-120.

MARTÍN PÉREZ, A. (1990). Ensayos y experiencias de alteración en la conservación de obras de piedra de interés histórico-artístico. Fundación Ramón Areces. Madrid.

MARTÍN RAMOS, J. D. (2006). Xpowder. Programa para análisis cualitativo y cuantitativo por difracción de rayos X. En *Macla* 4/5, pp.35-44.

MARTÍN RAMOS, J. D.; CAMBESES, A.; LÓPEZ-GALINDO, A.; SCARROW, J. H. y DÍAZ-HERNÁNDEZ (2012). *Pathways for quantitative analysis by X-Ray diffraction*. INTECH Open Access Publisher.

MARTINET, G.; DELOYE, F. X. y GOLVIN., J. C. (1992). Caractérisation des mortierspharaoniques du temple d'Amón à Karnak. *Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées* 181: 39-45.

MARTÍNEZ, D.; GONZÁLEZ, A. B. y NOVOA, O. G. (2006). Espectrometría de fluorescencia de rayos X. En *Revista de la Sociedad Colombiana de Física*, 38(2), 790-793.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

MARTÍNEZ, J. G. (1996). Aproximación al estudio de la construcción en la nueva España. En *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, (Vol. 19, p. 21).

MARTINEZ-RAMIREZ, S. (1995). Desarrollo de nuevos morteros de reparación resistentes al ataque biológico. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, pp.295.

MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, L.; PUCHOL, R. Q.; HERNÁNDEZ, J. F. M. (2007). Aglomerante Puzolánico formado por cal y ceniza de paja de caña de azúcar: la influencia granulométrica de sus componentes en la actividad aglomerante. En *Revista Ingeniería de Construcción*, Vol. 22 (2), pp. 113-122.

MASCA (2015). Massachusetts School Counselors Association.

Recuperado de <http://www.masca.org/>

MAS i BARBERÀ, X. (2008). Estudio y caracterización de morteros compuestos, para su aplicación en intervenciones de sellados, reposiciones y replicas de elementos petreos escultóricos-ornamentales. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València. Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales

MERCADAL, J.; SUBIRANAS, J.; SAMANIEGO, A.; GARCIA, G.; DEL POZO, J.; GOMEZ-GRAS, D.; BESCOS, G. Y MORENO, A. (2006). *Memoria y mapa geológico nº 470 (Gandesa)*. Mapa geológico de España. E = 1:50.000. I.G.M.E. Madrid.

MIDDLETON, W. D., BARBA, L.; PECCI, A.; BURTON, J. H.; ORTÍZ, A.; SALVINI, L. SUÁREZ, R. R. (2010). The study of archaeological floors: methodological proposal for the analysis of anthropogenic residues by spot tests, ICP-OES, and GC-MS. En *Journal of Archaeological Method and Theory* 17. pp.183–208.

MILANEZ, A. (1958). Casa de Terra: As técnicas de estabilização do solo a serviço do homem do campo. *São Paulo: SESP*.

MILLAR, C. E. (1982). *Edafología. Fundamentos de la ciencia del suelo*. Compañía Editorial Continental S.A. México, pp. 62-99.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

MINGARRO MARTÍN, F. (1996). Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico. Complutense, p.180.

MINKE, G. (2001). Manual de construcción en tierra: La tierra como material de construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual. EcoHabitat. Teruel. España.

MINKE, G. (2005). Manual de Construcción en Tierra. Alemania: Editorial Fin de Siglo.

MINKE, G. (2006). Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture. Editorial Birkhauser, Alemaña.

MIRIELLO, D.; BARCA, D.; CRISCI, G. M.; BARBA, L.; BLANCAS, J.; ORTÍZ, A. ;PECCI A. y LÓPEZ LUJÁN, L. (2011). Characterization and Provenance of Lime Plasters from the Templo Mayor of Tenochtitlan. *Archaeometry* 53, 6 (2011), pp. 1119–1141.

MOLINA GÓMEZ, J. A.; BLANCO, A. G. y CARPIO, P. A. L. (2004). Entalle bárquida de cornalina en las ruinas de Baria (Villaricos, Almería). En *El mundo púnico: religión, antropología y cultura material: actas II Congreso Internacional del Mundo Púnico, Cartagena, 6-9 de abril de 2000* (pp. 539-546). Area de Historia Antigua.

MONJO CARRIÓ, J. (1998). La evolución histórica de la arquitectura de tierra en España. En *Arquitectura de tierra*. Editor Autóctonas, Encuentros Internacionales. Centro de Investigación Navapalos/ Centro Experimental y de Investigación para la Construcción con Materiales y Técnicas. Editorial Ministerio de Fomento. Centro de Publicacionse, Madrid, pp. 31-44.

MONTERO RUIZ, I.; GARCÍA HERAS, M. y LÓPEZ-ROMERO, E. (2007). Arqueometría: Cambios y Tendencias Actuales. En *Trabajos de Prehistoria* 64, nº 1, Enero-Junio, Madrid, pp. 23-40.

MONTORO, B. y FERRADAS, P. (2005). Reconstrucción y gestión de riesgo: Una propuesta técnica y metodológica. ITDG. Lima-Peru. p. 12.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

MORALES, R.; CABREJOS, R. T.; RENGIFO, L. A. CANDIOTTI, C. (1993). Manual para la Construcción de Viviendas de Adobe. Editado por Antonio Campos Siguenza y Cismid-Fic-Uni. Pueblo Libre. Lima, Peru.

MUNARI, B. (1977). *Diseño y comunicación visual*. Barcelona: Gustavo Gili.

Munsell soil color charts. New Windsor, NY: Munsell Color, 2000.

MURAKAMI, T.; HODGINS, G.; VONARX, A. J. y SIMON, A. (2006). Radiocarbon Dating of lime carbonates in Mesoamerican Plasters: Studies from Teotihuacan. En *36° International Symposium of Archaeometry*, 2nd-6th May 2006, Quebec.

MURTA, F. L. (Dez de 2008). Produção de Argamassas a Partir da Ativação Alcalina de Metacaulim e de Resíduo de Tijolo Moido por Cales Virgem e Hidratada. Campos dos Goytacazes , RJ, Brasil: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

N

NANCARROW, P. (1990). La antigua China y la muralla. Cambridge Ediciones Akal, Madrid, pp. 5-10.

NASCIMENTO FILHO, V. (1999). Técnicas analíticas nucleares de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF) e por reflexão total (TXRF). Piracicaba: Depto. de Ciências Exatas; CENA, Laboratório de Instrumentação Nuclear, 1999, p. 32.

NAVARRO LIZANDRA, J. L. (2005). Maquetas, modelos y moldes: Materiales y técnicas para dar forma a las ideas. Universidad Jaume. Servicio de Comunicación y Publicaciones, Castellon de la Plana, pp. 55-62.

NEFF, H. (ed.) (1992). Chemical Characterization of ceramic pastes in archaeology. *Prehistory y Press*, Monographs in World Archaeology 7, Madison (Wisconsin).

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

NÉSTOR, J. (2002). Arquitectura de tierra: ¿Una especie en Extinción? En *Cuadernos de la Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales* - Universidad Nacional de Jujuy (Argentina), n° 018, pp. 185-202.

NEUBURGER, A. (1930). *The Technical Arts and Sciences of the Ancients*. London, UK.

NOGUEIRA CELDRÁN, J. M. (2002). El casón de Jumilla: Líneas de estudio para un proyecto integral de investigación histórico - arqueológica de un mausoleo tardorromano. En *Memorias de Arqueología*, 10, Editora Regional de Murcia, pp. 368-411.

NOGUEIRA CELDRÁN, J. M. (2007). El Casón de Jumilla (Murcia): estudio arqueológico e interpretación de un mausoleo tardorromano. Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes, Alicante.

NÚÑEZ-CUADRA, O.; TALAVERA-BUSTAMANTE, I., PORRO-MUÑOZ, D.; HERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, N. y BUSTIO-MARTÍNEZ, L. (2011). Experiencias en el uso del software Quimiometrix para el procesamiento multivariado de datos químicos y bioquímicos. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 42(1), 3-16.

NÚÑEZ SOLÍS, J. (2000). *Fundamentos de edafología*. EUNED. 2ª edición. Costa Rica.

O

OCPM (2015a). Organización de las Ciudades del Patrimonio Mundial. *Bam, República Islámica de Irán*. Recuperado de http://www.ovpm.org/es/rep_islamica_de_iran/bam.

OCPM (2015b). Organización de las Ciudades del Patrimonio Mundial. *Shibam, Yemen*. Recuperado de <http://www.ovpm.org/es/yemen/shibam>

OLIN, J. S. (1982). *Future directions in archaeometry. A Round Table*. Smithsonian Institution. For sale by the Supt. of Docs. USGPO, Washington D.C., p. 42.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

OLIVARES SANTIAGO, M.; GALÁN MARÍN, C. ROA FERNÁNDEZ, J. (2003). Los composites: Características y aplicaciones en la edificación. En *Informes de la Construcción*, Vol. 54, nº 484, pp. 45-62.

OLIVEIRA, M. M. (2006). *Tecnologia da conservação e da restauração: materiais e estruturas, um roteiro de estudos*. Salvador: EDUFBA.

OLIVEIRA, A. P. de; GOMES NETO, J. A y FERREIRA M. M. C. (200&). Uso da análise exploratória de dados na avaliação de modificadores químicos para determinação direta e simultânea de metais em álcool combustível por GFAAS. En *Eclética Química volume 31*, número 1, 2006.

ONTIVEROS ORTEGA, E. (2001). Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones: morteros empleados en construcciones históricas. Formulación y características. (1ª parte). En *Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, nº 34, Junta de Andalucía, pp.78-89.

ONTIVEROS ORTEGA, E. (2001). Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones: morteros empleados en construcciones históricas. Metodología de estudio. Fundamentos (2ª parte). En *Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico* nº 37, Junta de Andalucía, pp.84-93.

ONTIVEROS ORTEGA, E.; ESPINOSA, I. V. y PARDO, E. S. (1997). El tapial de las murallas de Granada. En *Revista de Edificación* ,nº 26 p. 58.

ORCHE, E.; ROBLES, S.; ROSELL, J.; MORENO, E.; MANSILLA, H.; FERNÁNDEZ-LUANCO, M.; ARGÜELLES, A.; NODAL, T. y QUESADA, C. (1980). *Memoria y hoja geológica nº 497 (Perelló)*. Mapa geológico de España. E = 1:50.000. I.G.M.E. Madrid.

ORCHE, E.; ROBLES, S.; ROSELL, J.; GRANADOS, L.; MARTÍNEZ-FRESNEDA, F.; MANSILLA, H.; FERNÁNDEZ-LUANCO, M.; ARGÜELLES, A.; NODAL, T. Y QUESADA, C. (1981): *Memoria y hoja geológica nº 471 (Mora de Ebro)*. Mapa geológico de España. E = 1:50.000. I.G.M.E. Madrid.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

ORTIZ SANZ, J.; CAÑAS GUERRERO, I.; GARCÍA NAVARRO, J. y REGO SANMARTÍN, T. (2000). Análisis tipológico de las estructuras de las construcciones rurales tradicionales de barro. La casa de corral en el páramo de León (España). En *Informes de la Construcción*, Vol. 52, nº 468, pp. 5-18.

P

PADRÓ i PARCERISA, J. (1983). El Tossal Del Moro de Pinyeres (Batea, Terra Alta). En *Tribuna D'arqueologia* 1982/83. Generalitat de Catalunya. Departamento de Cultura. Dirección General del **Patrimoni Artístic, Servei d'Arqueologia, Barcelona, pp. 25-30.**

PADRÓ i PARCERISA, J. (2015). El Tossal del Moro de Pinyeres.

PAIVA, K. F. (2013). Produção de adobes em Ait Benhaddou. En *Vitruvius*. Recuperado de <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquiteturismo/06.062-63/4355>

PANERO, F. S., VIEIRA, M. F. P., CRUZ, Â. M. F., MOURA, M. F. V., & SILVA, H. E. B. da. (2009). Aplicação da análise exploratória de dados na discriminação geográfica do quiabo do Rio Grande do Norte e Pernambuco. En *Eclética Química*, 34(3), 33-40.

PAULA, F. M. (2014). Fabrico de blocos de adobe em Sheikh Zayed, na Faixa de Gaza. En *Historias de Portugal e Marrocos. Arquitecturas de Terra*. Recuperado de <https://historiasdeportugalemarrocos.wordpress.com/2014/02/03/arquitecturas-de-terra/>

PEREIRA, J. S. MADRIGAL BELINCHÓN, A., CHAPA BRUNET, T. (1998). Enterramientos múltiples en las necrópolis ibéricas del Guadiana menor. Algunas consideraciones. Actas del Congreso internacional: Los íberos. Príncipes de Occidente. Estructuras de poder en la sociedad Ibérica (Barcelona 12, 13 y 14 de marzo de 1998), *Saguntum* nº Extra 1, Centro Cultural de la Fundación "La Caixa", Barcelona, 1998, pp. 343-354.

PÉREZ, A. (2007). hidráulica. En Forum Ibérico de la Cal. FICAL.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

PÉREZ, N. A.; CHARUA, D. y FERNÁNDEZ, S. (2015). Extracción y purificación del mucílago y goma de nopal para su uso en conservación. En *Estudios sobre conservación, restauración y museología*. V. II. ISBN: 978-607-484-649-2.

PÉREZ SIRVENT, C.; MARTÍNEZ SÁNCHEZ, M. J.; MARIMÓN, J.; VEIGA, J. y TOVAR, P. (2001). Caracterización mineralógica de morteros de edificios del patrimonio histórico-artístico de la Vega Media del Segura (Región de Murcia). Universidad de Murcia. Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología. Facultad de Química. En *XVII Congreso Nacional de Ingeniería de Proyectos* - Murcia 2001.

Photoblend (2015). Recuperado de <http://www.js8media.com/photoblend/>

PIEDECAUSA GARCÍA, B. (2009). La vivienda enterrada: Estudio de su evolución tipológica y adaptación geográfica. En *investigaciones geográficas*, nº 50. Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante, pp. 169-189.

PIEDECAUSA GARCÍA, B. (2011). La vivienda excavada: Evolución tipológica, condiciones ambientales y adaptación geográfica. El caso de Crevillente (Alicante). En *Construcción con tierra. Tecnología y arquitectura*. VIII Congreso de Tierra en Cuenca de Campos, Valladolid, pp. 396-414.

PITARCH MARTI, A. (2010). Caracterización de estucos y pigmentos del establecimiento romano republicanos de Can Tacó-Turó d'enRoina (Montmeló-Montornès del Vallès, Barcelona). En *VIII Congreso Ibérico de Arqueometría*, pp. 319-326.

PLINIO SEGUNDO, G. (1995). Historia Natural - Plinio, El Viejo. Gredos. Madrid.

POLLARD, A. M. (2007). *Analytical chemistry in archaeology*. Cambridge University Press.

PORCEL, M. (2001). Aplicación de técnicas quimiométricas para el desarrollo de nuevos métodos cinético-espectrofotométricos de análisis. Tesis Doctoral. Directores Dra. Hortensia Iturriaga Martínez y Dr Jordi Coello Bonilla. Departamento de química. Universidad Autónoma de Barcelona.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

POZO, M.; CASAS, J. y RUBÍ, J. M. (1999). Estudio mineralógico, químico, y textural de materiales y elementos arqueológicos en asentamientos de edad del hierro del oasis de Al Madam. (Emirado de Sharyah, EE.AA.UU). En *Isimu: Revista sobre Oriente Próximo y Egipto en la antigüedad*, nº 2, 1999, pp. 605-634

PRIEGO, M. R. G. (2009). ¿Qué hace un micénico como tú en un sitio como éste? Andalucía entre el colapso de los palacios y la presencia semita. En *Trabajos de Prehistoria* 66, nº 2, julio-diciembre, pp. 93-118.

Q

QUIRÓS CASTILLO, J. A. (1994). Contribución al estudio de la Arqueología de la Arquitectura. En *Arqueología y Territorio Medieval*, nº 1. pp. 141-158.

R

RED HABITERRA (1995). Red Habiterra. Colectivo de autores: Recomendaciones para la elaboración de normas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo cemento. HabiterraCytred, Bolivia, p. 110.

RESTAURACIÓN/TEORIA (2011). Restauracion/teoria (2011): Morteros de Construcción y Ornamentación. Recuperado de <http://www.ugr.es/~agcasco/personal/restauracion/teoria/TEMA04.htm>

RIEGER, C. (1763). *Elementos de toda la arquitectura civil, con las más singulares observaciones de los modernos*. Impreso en Latín, Traducidos al Castellano por el P. Miguel Benavente, Impreso por Joachin Ibarra, Calle de las Urofas, Madrid, España, p. 226-228.

RIVERA GROENNOU, J. M. (2007). Aproximación a las formas constructivas en una comunidad de la Edad del Bronce: el poblado argárico de Peñalosa (Baños de la Encina, Jaén). En *Arqueología y Territorio* nº 4, p. 5-21.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

RIVERA GROENNOU, J. M. (2009). Micromorfología e interpretación arqueológica aportes desde el estudio de los restos constructivos de un yacimiento argárico en el Alto Guadalquivir, Peñalosa (Baños de la Encina, Jaén). En *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, ISSN 0211-3228, nº 19, 2009 (Ejemplar dedicado a: Ideología y Arqueología), pp. 339-360.

RIVERA TORRES, J. C. Y MUÑOZ DÍAZ, E. E. (2005). Caracterización estructural de materiales de sistemas constructivos en tierra: El adobe. En *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, Vol.5 nº 2, pp.135-148.

RODRIGO RAMOS, A.; ROTONDARO, R. y MONK, F. (2004). Diseño y aplicación de métodos para evaluar patologías constructivas en el hábitat rural. Arquitectura de tierra en el noroeste argentino. En *Boletín del Instituto de la Vivienda*, agosto, vol. 19, nº 051, Universidad de Chile, Santiago, Chile, pp. 108-127.

RODRÍGUEZ, A. G. (2005). Extremadura Popular Casas y Pueblos. Colección arte/arqueología. Diputación de Badajoz. Departamento de Publicaciones.

RODRÍGUEZ, M. Á. y SAROZA, B. (2006). Identificación de la composición óptima del adobe como material de construcción de una escuela en Cuba. En *Materiales de Construcción*, Vol. 56, nº 282, pp. 53-62.

RODRÍGUEZ-MORA, O. (2006). Morteros: Guía general. Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero.

ROJO, A.; MATEOS, F. y VALDEÓN, L. (2004). Caracterización petrológica de los morteros de la fuente prerrománica de Foncalada, Oviedo. En *Trabajos de Geología*, nº 24, pp.165-175.

Royal Ontario Museum (2015). Recuperado de <http://www.rom.on.ca/>

ROMERA, A. M.; ROMERO, M. S. y MARTÍN, A. G. (2014). Las comunidades de la Edad del Bronce de La Mancha desde la arqueología y la antropología física: el caso del cerro de La Encantada (Granátula de Calatrava, Ciudad Real). En *Menga: Revista de prehistoria de Andalucía*, (5), 175-197.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

ROTONDARO, R. y KIRSCHBAUM, C.F. (1993). Appropriated earth roofs for the altiplano of Argentina. En *7th Conferencia Internacional sobre o estudo e Conservação da Arquitectura de Terra* -TERRA93: DGEMN-ICCROM-CRATerre-ICOMOS. Portugal. pp. 393-397.

ROTONDARO, R. (2007). Arquitectura de tierra contemporánea: tendencias y desafíos. *APUNTES* vol. 20, núm. 2 (2007), pp. 342-353

ROVIRA LLORENS, S, GARCÍA HERAS, M.; GENER MORET, M. y MONTERO RUIZ, I. (2008). *Actas del X Congreso Iberico de Arqueometria* (Madrid, 8-10 octubre 2007). Recuperado de <http://pt.calameo.com/read/000692387f4d76de38257>

RUCKS, L.; GARCÍA, F.; KAPLÁN, A.; de LEÓN, J. P. y HILL, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas, Montevideo, Uruguay. Montevideo, Uruguay.

RUBINOS GONZÁLEZ, D. (2008). Utilización de lodos rojos de bauxita en la contención e inactivación de residuos tóxicos y peligrosos. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.

RUBIO ALONSO, J.; SÁNCHEZ, M. J.; LAVILLA, E.; del ROSARIO, M. y OTEO MAZO, J. L. (2006). Caracterización superficial de distintos materiales de construcción. En *Materiales de Construcción*, nº. 283, 2006, pp. 37-47.

RUIZ, R. A. (1995). La técnicas constructivas en al-Andalus. El origen de la sillería y el hormigón de tapial. En *V Semana de estudios medievales: Nájera*, 1 al 15 de agosto de 1994 / *coordinado por* José Ignacio de la Iglesia Duarte, 1995, pp. 125-142.

RUIZ, R. A. (2005). Las técnicas constructivas en la formación de al-Andalus. En *Arqueología de la Arquitectura*, nº 4, pp. 149-160.

RUIZ ZAPATERO, G. (2005). ¿Por qué necesitamos una titulación de arqueología en el siglo XXI? En *Complutum*, nº 16, Madrid, pp. 225-269.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

S

SAIZ CARRASCO, M^a. E. S.; ROMERO, R. L.; DÍAZ-TENDERO, M. A. C. y GARCÍA, J. C. C. (2010). Presentación del Evento. En *Actas del VIII Congreso Ibérico de Arqueometría*. Teruel, Seminario de Arqueología y Etnología Turolense.

SALAS, H. R. (1985). La personalidad del "horizonte" necrópolis del Cerro de la Encantada. En *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología*, ISSN 0211-1608, nº 11-12, 1984-85, pp. 143-152.

SALAS, J. (2011). La tierra, material de construcción, a modo de presentación. En *Informes de la Construcción*, vol.63, nº 523.

SALAZAR, F.; PRIETO, J.; GARCÍA, L.; ALVAREZ, A.; FERNÁNDEZ, A.; MARTÍNEZ, C.; GENZO, E. MARTÍNEZ, C.; BORRAGÁN, J.; GRANADOS, L. y ARANA, T. (1980). *Memoria y hoja geológica nº 994 (Baza)*. Mapa geológico de España. E = 1:50.000. I.G.M.E. Madrid.

SALAZAR MARTÍNEZ, B. L.; VÁZQUEZ HONORATO, L. A. y SALAZAR MARTÍNEZ, E. A. (2011). El agua como variable en el desarrollo del proyecto arquitectónico. Universidad Veracruzana

SALIDO DOMÍNGUEZ, P. J. (2004). La documentación literaria aplicada al Registro Arqueológico: Las técnicas de construcción de los graneros romanos rurales. En *Espacio, Tiempo y Forma*, Serie I, Prehistoria y Arqueología, t. 16-17, 2003-2004, págs. 463-478

SÁNCHEZ, J. y GALÁN, C. (2004). El Cerro De La Encantada. En: *La Península Ibérica en el II Milenio A.C. poblados fortificaciones*. Cuenca: Colección Humanidades 77, Ediciones Universidad Castilla-La Mancha; 2004. p. 115-172.

SÁNCHEZ GARCÍA, Á. (1995). La problemática de las construcciones con tierra en la Prehistoria y en la Protohistoria peninsular. En *Actas del XXIII Congreso Nacional de Arqueología*: Elche, 1995, vol. 1, 1997, pp. 349-358.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

SANCHEZ GARCIA, Á. (1997). La arquitectura del barro en el País Valenciano durante la Prehistoria y la Protohistoria. 397. Tesis de Licenciatura, Universidad de Valencia.

SÁNCHEZ GARCÍA, Á. (1999). Las Técnicas Constructivas con Tierra en la Arqueología Prerromana del País Valenciano. En *Quaderns de Prehistòria i Arqueologia de Castellón*, nº 20, pp.161-188.

SÁNCHEZ HERNÁNDEZ, R.; JIMÉNEZ FUENTES, E.; SUÁREZ BARRIOS, M. y MARIA, J. (1998). Evaluación del Comportamiento de los Tapiales de la Iglesia de Cisneros (Palencia) frente a un Tratamiento de Restauración. En *Actas del Congreso Internacional de Restauración – Restaurar la Memoria*. Instituto Español de Arquitectura. Universidad de Valladolid. Diputación de Valladolid. Valladolid, 1998, pp. 281-288.

SÁNCHEZ HERNÁNDEZ, R.; JIMÉNEZ FUENTES, E.; SUÁREZ BARRIOS, M. y MARIA, J. y POZAS, M. (2000). Caracterización de materiales antiguos de construcción (tapial y adobe) en las iglesias de Cisneros, Villada y Boada de Campos (Palencia).En *Materiales de Construcción*, Vol. 50,nº 257, pp.33-45.

SANCHEZ SANZ, M. E. (1977). El Barro en la Construcción. En *Narria: Estudios de Artes y Costumbres Populares*, nº 8, 1977 (Ejemplar dedicado a: Cerámica del Museo de Artes y Tradiciones Populares), págs. 29-35.

SANTIAGO, C. C. (2007a). *Argamassas tradicionais de cal*. Ed. Universidade Federal da Bahia. ISBN: 978-232-0471-6.

SANTIAGO, C. C. (2007b). *Outros constituintes das argamassas*. Ed. Universidade Federal da Bahia. ISBN: 9788523204716.

SANTIAGO, C. C. (2012). O restauro de argamassa de cal no Brasil. En *Construindo*, Vol. 04, nº 01 Jan/Jun. FUMEC/UFMG/FEUP. ISSN 2175-7143.

SANZ LLANO, J. J. (1975). *Mecánica de Suelos* Reunión de Ingenieros, Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

Sociedad de Arqueometría Aplicada al Patrimonio Cultura - SAPaC (2015). Recuperado de <https://www.sapac.es/>

SCAPIN, M. A. (2003). *Aplicação da Difração e Fluorescência de raios X (WDXRF): Ensaio em Argilominerais*. Máster. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, pp. 01-80

SCHÁVELZON, D. 1991. *Arqueología histórica de Buenos Aires. La cultura material porteña de los siglos XVIII y XIX*. Buenos Aires, editorial Corregidor.

SCIUTI, S. (2002). *Achaeometry in Italy: The Importance of in Situ Analyses*. En *Comitato Scientifico in Convegno Internazionale Archaeometry in Europe in the Third Millennium*. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei, pp.11-31

SEGURA SOTO, R. (1973). *Introducción a la Petrografía*. Ediciones URMO, Bilbao, España.

SEPULCRE AGUILAR, A. (2003). *Tópicos comunes en la elaboración y uso de los morteros de restauración de fábricas*. En *Pátina*, 2(12), 29-39.

Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental – SEIA (2015). *Recuperado de www.sea.gob.cl/contenido/que-es-el-sistema-de-evaluacion-de-impacto-ambiental*

SHULMAN, G. (2003). *Arquitectura Vernácula*. En revista-ambiente. Recuperado de <https://www.yumpu.com/es/document/view/14534390/o-shulman-ambiente/7>

SICKELS, L. B. (1981). *Organics vs. synthetics: their use as additives in mortars*. Mortars, Cements and Grouts used in the Conservation of Historic Buildings, *Symposium ICCROM*. pp. 25- 52.

SINAMAI, A. (2008). *Conservation of archaeological daga (adobe) structures, Domboshaba National Monument, Botswana*. En *10th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage*, Mali Ministry of Culture, Bamako, Mali, The Getty Conservation Institute, pp. 207-213.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

SMITH, C. S. (1982). Measurement and history. *En Future Directions in Archaeometry: a round table*. Smithsonian Institution Washington, EUA, pp. 49-51

SOJA, E. W. (1945). Postmetrópolis: estudios críticos sobre las ciudades y las regiones. *Social Sciences*, (242), 7-17.

SORROCHE CUERVA, M. Á. (2000). Tipologías constructivas en el Noreste de la Provincia de Granada. Materiales de construcción. Tipos y técnicas en la arquitectura tradicional. En *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Sevilla, 26-28 octubre 2000, eds. Amparo Graciani García, vol. 2, pp. 1069-1075.

SOUZA, R. C. J. (1996). Problemas de Conservação em Construções Típicas de Minas Gerais. En *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*. Belo Horizonte, n° 4, pp. 103 -120.

SOUZA, M. A.; RIBEIRO, D. V.; SANTIAGO, C. C. (2014). Propriedades das argamassas de cal com adição de grude de guriuba (*Arius spp.*). En *Fórum Ambiental da Alta Paulista*, vol. 10, p. 1-15.

STRIKE, J. (2004). De la construcción a los proyectos: La influencia de las nuevas técnicas en el diseño arquitectónico. *Reverté*, p. 130.

STULZ, R. y MUKERJI, K. (1993). Materiales de construcción apropiados. *Catálogo de soluciones potenciales revisado*. Editor Skat. Recuperado de <http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms00.htm#Contents>

SUAREZ, L. E. y REGUEIRO, M. (1994). Áridos naturales y de machaqueo para la construcción. En 2a Ed. Publicación especial n° 9 sobre Ingeniería Geológica. Colegio Oficial de Geólogos de España, pp. 131.

SYMONDS, S.; CYPHERS, A.; LUNAGÓMEZ, R. (2002). Asentamiento prehispánico en San Lorenzo Tenochtitlán. (Vol 2) UNAM.

T

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

TABOADA, C. (2005). Propuesta metodológica para el análisis diacrónico de arquitectura prehispánica y la asignación de significado conductual discriminado. Aplicación en el noroeste argentino. En *Anales del Museo de América* 13 (2005), pp. 139-172.

TAIZ, L. y ZEIGER, E. (2006). Fisiología vegetal. Castelló de la Plana. Vol.2. Num.10. Publicaciones de la Universitat Jaume I. ISBN 978-84-8021-600-5.

TAVARES, A. (1992). Construção em Terra na Região Centro. En *Seminário Arquiteturas de Terra*, Museu Monográfico de Conímbriga, Ed. CCR Centro, Coimbra.

TELES, C. D. de M. (2010). Inspeção de fachadas históricas: levantamento de materiais e danos de argamassas de revestimento. 2010. 321 f. Tesis Doctoral (Arquitectura) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

TERREROS Y PANDO, E. (1786). Diccionario castellano con las voces de ciencias y artes y sus correspondientes de las tres lenguas. Francesa, latina y Italiana. 2º tomo. Imprenta de la Viuda de Ibarra, Hijos y Compañía, Madrid, p. 623.

TERRY, R.; FABIÁN FERNÁNDEZ, J.; PARNELL, J. y INOMATA, T. (2004). The story in the floors: chemical signatures of ancient and modern Maya activities at Aguateca, Guatemala. En *Journal of Archaeological Science* 31 (9): 1237-1250.

THALACKER, J. W. (1805). Variedades de Ciencias, Literatura y Artes: Obra Periódica. Vol. 2, Oficina de Don Benito García y Compañía, Madrid, p.84

TIBÁ (2011). Tecnología Intuitiva e Bio-arquitectura. *Terra*. Recuperado de <http://www.tibarose.com/port/home.php>

TINEO, M. y ANTÓN, J. (1984). *Historia de la construcción. De la caverna a la industrialización*. Montesinos editor, Barcelona, p. 13

TITE, M. (1972). *Methods of Physical Examination in Archaeology*. Seminar Press, London.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

TITE, M. (1991). Archaeological Science – Past achievements and future prospects. En *Archaeometry* 33(2): pp.139-151.

TITE, M. (2002). Archaeometry: If it is not Archaeology, then it is nothing in Archaeometry. En *Convegno Internazionale Archaeometry in Europe in the Third Millennium* (Roma, marzo 2001). Roma: Accademia Nazionale dei Lincei, pp. 29-308.

TORTOSA MUÑOZ, G. (2011). Manual práctico de Quimiometría.

TRISTÃO, F. A.; MORALES, B. R. S. C.; REMBISKI, F. D. (2009). Estudo do aproveitamento de conchas de mexilhão para a produção de cal para a construção civil. En: *Encontro Nacional sobre Aproveitamento de Resíduos na Construção, 2009*, Feira de Santana (BA). Encontro Nacional sobre Aproveitamento de Resíduos na Construção, 2009, vol. 1.

U

UNE - 83 800 – 1994 - *Morteros de albañilería*: definiciones y especificaciones.

UNE 83207:2005 - *Aditivos para hormigones, morteros y pastas*. Determinación de la pérdida por calcinación a (1 050 +/-25) °C.

UNESCO (2007). *Bam and its cultural landscape*. Recuperado de <http://whc.unesco.org/en/list/1208>

UNESCO Beijing Office (199). Master Plan for Preservation and Restoration of the Ancient Ruins of Jiaohe. Planning Institute for Conservation of Cultural Properties.

UNESCO (2015). *Ciudad vieja amurallada de Shibam (Unesco/NHK)*. Recuperado de <http://www.youtube.com/watch?v=AbQcypKlexk>

V

VAN DEN HURK, A.; NAVARRO, J. (1992). *Memoria y mapa geológico nº 443 (Fabara)*. Mapa geológico de España. E = 1:50.000. I.T.G.E. Madrid.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

VARRÓN, M. T. (2010). *Rerumrusticarum: Libri III / Marco Terencio Varrón; [traducción y comentarios de José Ignacio Cubero Salmerón]*. Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación. ISBN: 978-84-8474-283-8.

VARUM, Humberto et al. (2011). Investigaciones realizadas en la Universidad de Aveiro sobre caracterización mecánica de las construcciones existentes en adobe en Portugal y propuestas de rehabilitación y refuerzo. Resultados alcanzados. En *Informes de la Construcción*, Vol. 63,nº 523, pp. 127-142.

VASCONCELLOS, S. de (1979). *Arquitetura no Brasil: Sistemas Construtivos*. 5ª ed. Belo Horizonte/MG. 1979, Serie Patrimonio Histórico.

VELA COSSIO, F. (2003). Investigación Arqueológica y Construcción con Tierra en la Península Ibérica. En *Actas del II Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra*, Mairea, pp. 1-15.

VELASCO, A.; SÁNCHEZ J.; GOY, J.; GONZÁLEZ, C.; CERDÁ, M.; GRANADOS, L.; ROJAS, A.; PÉREZ, J. Y REIG, P. (1983). *Memoria y hoja geológica nº 1046 (Carboneras)*. Mapa geológico de España. E = 1:50.000. I.G.M.E. Madrid.

VÉLEZ CAICEDO, A. C. (2008). *Homo artisticus: Una perspectiva bilógico-evolutiva*. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, p. 245

VIDAL, S. A. (2007). Desde la Otra Orilla: Presencia de la Arqueometría en Latinoamérica y su Reacion con España. En *VII Congreso Ibérico de Arqueometría*, Madrid: Universidad Complutense de Madrid/ Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano (Argentina), pp. 52-62.

VIEIRA, G. F. y JOUAN DIAS, L. (2012). Arqueometría: Mirada Histórica de una Ciencia en Desarrollo. En *Revista do Centro de Preservação Cultural (CPC)*, Universidade de São Paulo, nº 13, São Paulo, Brasil, pp. 107-133.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

VILA, A. y ESTÉVEZ, J. (2010). La excepción y la norma: las sociedades indígenas de la Costa Noroeste de Norteamérica desde la arqueología. En *Trebanns D'etnoarqueologia*, Vol. 8, CSIC.

VILLANUEVA, M.; ROBLES, J.; MARTÍNEZ-RICHA, A.; VILLASEÑOR, T. O.; y HERNÁNDEZ, M. (2009). Obtención de Relaciones Cuantitativas Estructura-Propiedad en Cristales Líquidos. En *Acta Universitaria*, vol. 19, n° 2, septiembre, 2009, pp. 82-92 Universidad de Guanajuato Guanajuato, México.

VILLASEÑOR, I. y AIMERS, J. (2009). Una de Cal por las que Van de Arena: Un Estudio Diacrónico de los Estucos de Calakmul y Palenque. En *Estudios de Cultura Maya*, Vol. 33. Centro de Estudios Mayas. Instituto de Investigaciones Filológicas, UNAM, Ciudad de México, pp. 25-50.

VILLASEÑOR ALONSO, I. y BARBA PINGARRÓN, L. A. (2011). El Estudio de Materiales Constructivos en la Arqueología Mesoamericana. En *Anales de Antropología*, Vol.45, pp. 79-98.

VILLEFONTAINE (1987). Tour de la terre. Editorial Ecomusée Nord-Dauphine. Paris. En *Gabriel Barbeta Solá: Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI*. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya, España, 2002, pp. 15-17.

VIÑUALES, G. M., NEVES, C. M. M., FLORES, M. O. y RÍOS, S. (1989). Arquitecturas de tierra en Iberoamérica. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo CYTED .HABITERRA

VIÑUALES, G. M. (1993). Construção com Terra em Iberioamerica. Heranças e transferências. En *7ª Conferência internacional sobre o estudo e conservação da arquitectura de terra*, TERRA 93. Silves (Portugal), 24 a 29 de Outubro 1993, pp. 148-152.

VITRUVIO, P. (1997). Marco L (s. I a.C) Los diez libros de Arquitectura. *Versión de: José Luis Oliver Domingo*. Madrid: ALIANZA.

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

VV.AA. (2000). El libro de oro de Marruecos. Editora Bonechi, pp.97-106.

VV.AA. (2008a) Ayuntamiento de Gogichaishvili. *Taller sobre perspectivas y futuro de la arqueometría mexicana*. En Geos, vol. 28, n° 02, pp. 298-301.

VV.AA. (2008b). Historia de la Arqueometría en México. En *Laboratorio de Arqueometría do Occidente* (2012). México. Reunión Anual. UGM (Puerto Vallarta), 2008. Recuperado de <http://www.iim.umich.mx/IIMWeb/arqueometria/>

VV.AA. (2012a). Evaluación de daños y soluciones para construcciones en tierra cruda. Manual de terreno. Corporación de Desarrollo Tecnológico. En Document técnico n° 32. Ediciones Raiz futura. Santiago de Chile.

VV.AA. (2012b). What is Archaeometry/Archaeological Science? En *ATAM- Program on ancient technologies and archaeological materials. Illinois State Archaeological Survey (ISAS)*. University of at Urbana-Champaign. Recuperado de http://www.isas.illinois.edu/atam/archaeometry_archaeology/whatisarchaeometry.html

W

WESTFALL, C. y SERGUEI, R. (2006). Aqueometría: Actuales Aportes de la Geología, Química, Física y Biología al Estudio y Conservación del Patrimonio Arqueológico. En *XVII Congreso Nacional de Arqueología Chilena.02*, Valdivia: Ediciones Kultrún. U. A. Chile (Ed.), pp. 755 a 788.

X

Xpowder (2015). *Xpowder: Qualitative, Quantitative and Microtextural – Powder X-ray Diffraction Analysis*. Recuperado de <http://www.xpowder.com/spanish/links.htm>

Y

Aplicación de Técnicas Analíticas a la Investigación de Elementos Constructivos de Tierra

YÁVAR, Javiera (2012). *El nuevo Manhattan en el desierto de Arabia*. En plataforma arquitectura. Recuperado de <http://www.plataformaarquitectura.cl/2012/05/20/el-nuevo-manhattan-en-el-desierto-de-arabia/>

YILDIZ, P. (2015). Cave Houses as Arcetypes of Shelter Formation in Capadoccia Region, Turkey. *Athens Journal of History*, Vol.1, N° 1.

Z

ZARANKIN, A. (1995). *Arqueología histórica urbana en Santa Fe la Vieja: El final del principio*. University of South Carolina press, Columbia.

ZAPATERO MAGDALENO, P. (1990). La Velilla, un enterramiento de tradición dolménica en el valle de Valdavia. En *Boletín de la Institución Tello Téllez de Meneses*, 60. Palencia: Diputación Provincial, pp. 7-13.

ZAPATERO MAGDALENO, P. (1991). Sobre las relaciones entre Neolítico interior y megalitismo: notas sobre el túmulo de La Velilla, en Osorno (Palencia). En *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología: BSAA*, (57), 53-61.

Anexo I – Inventario de Muestras

De acuerdo con los criterios de selección (naturaleza, porosidad, tamaño, cronología y representatividad) las muestras de adobes morteros fueron sometidas a una caracterización mineralógica y textural. Para ordenarlas se ha hecho este inventario. Su función es identificar cada espécimen con su etiqueta (signatura), naturaleza, tipo de elemento, yacimiento del que proviene y etapa cronológica del yacimiento.

Inventario de los materiales estudiados

Nº de Registro	Signatura	Naturaleza	Procedencia	Cronología
1	PR-01	Adobe	Puig Roig	S. X-VII a.C.
2	PR-02	Adobe	Puig Roig	S. X-VII a.C.
3	PR-03	Adobe	Puig Roig	S. X-VII a.C.
4	PR-04	Adobe quemado	Puig Roig	S. X-VII a.C.
5	PR-05	Adobe	Puig Roig	S. X-VII a.C.
6	PR-06	Adobe	Puig Roig	S. X-VII a.C.
7	PR-07	Adobe	Puig Roig	S. X-VII a.C.
8	PR-13	Argamasa/Muralla	Puig Roig	S. X-VII a.C.
9	PR-14	Argamasa/Muralla	Puig Roig	S. X-VII a.C.
10	PR-15	Argamasa/Muralla	Puig Roig	S. X-VII a.C.
11	PR-16	Argamasa/Muralla	Puig Roig	S. X-VII a.C.
12	PR-17	Argamasa/Adobe	Puig Roig	S. X-VII a.C.
13	PR-18	Adobe	Puig Roig	S. X-VII a.C.
14	PR-19	Adobe	Puig Roig	S. X-VII a.C.
15	PR-20	Adobe quemado	Puig Roig	S. X-VII a.C.
16	PR-21	Pavimento	Puig Roig	S. X-VII a.C.
17	PR-22	Muro	Puig Roig	S. X-VII a.C.
18	PR-23	Muralla	Puig Roig	S. X-VII a.C.
19	PR-24	Adobe	Puig Roig	S. X-VII a.C.
20	PR-25	Soporte	Puig Roig	S. X-VII a.C.
21	PR-26	Adobe	Puig Roig	S. X-VII a.C.
22	PR-27	Pavimento	Puig Roig	S. X-VII a.C.
23	PR-28	Pavimento	Puig Roig	S. X-VII a.C.
24	PR-29	Adobe + ceniza	Puig Roig	S. X-VII a.C.
25	PR-30	Pavimento	Puig Roig	S. X-VII a.C.
26	TC-01	Estuco	Turó Cavari	600 – 550 a.C.
27	TC-02	Revestimiento	Turó Cavari	600 – 550 a.C.

28	TC-03	Estuco	Turó Cavari	600 – 550 a.C.
29	TC-04	Estuco	Turó Cavari	600 – 550 a.C.
30	TC-05	Revestimiento	Turó Cavari	600 – 550 a.C.
31	TC-06	Estuco	Turó Cavari	600 – 550 a.C.
32	TC-07	Estuco	Turó Cavari	600 – 550 a.C.
33	TC-08	Revestimiento	Turó Cavari	600 – 550 a.C.
34	TC-09	Estuco	Turó Cavari	600 – 550 a.C.
35	TC-10	Revestimiento	Turó Cavari	600 – 550 a.C.
36	TC-11	Estuco	Turó Cavari	600 – 550 a.C.
37	TC-12	Estuco	Turó Cavari	600 – 550 a.C.
38	TC-13	Estuco	Turó Cavari	600 – 550 a.C.
39	TC-14	Revestimiento	Turó Cavari	600 – 550 a.C.
40	TM-01	Adobe	Tossal del Moro	S. IV a.C.
41	TM-02	Adobe	Tossal del Moro	S. IV a.C.
42	TM-03	Adobe	Tossal del Moro	S. IV a.C.
43	TM-04	Adobe	Tossal del Moro	S. IV a.C.
44	TM-05	Revestimiento	Tossal del Moro	S. IV a.C.
45	TM-06	Adobe	Tossal del Moro	S. IV a.C.
46	TM-07	Adobe	Tossal del Moro	S. IV a.C.
47	TM-08	Adobe	Tossal del Moro	S. IV a.C.
48	TM-09	Revestimiento	Tossal del Moro	S. IV a.C.
49	C-01	Adobe	Castellons	S. IX/I a.C.
50	C-02	Adobe	Castellons	S. IX/I a.C.
51	C-03	Adobe	Castellons	S. IX/I a.C.
52	SM-01	Adobe	Sant Miquel	S. II/I a.C.
53	SM-02	Adobe	Sant Miquel	S. II/I a.C.
54	SM-03	Adobe	Sant Miquel	S. II/I a.C.
55	SM-04	Adobe	Sant Miquel	S. II/I a.C.
56	CC-01	Estuco	Costa Capellans 85	S. I a.C./I d.C.
57	CC-02	Estuco	Costa Capellans 85	S. I a.C./I d.C.
58	CC-03	Estuco	Costa Capellans 85	S. I a.C./I d.C.
59	CC-04	Pared	Costa Capellans 85	S. I a.C./I d.C.
60	CC-05	Estuco	Costa Capellans 85	S. I a.C./I d.C.
61	B-01	Adobe	Barrugat 84	S.I a.C./VIIId.C.
62	B-02	Adobe	Barrugat 84	S.I a.C./VIIId.C.
63	B-03	Adobe	Barrugat 84	S.I a.C./VIIId.C.
64	B-04	Adobe	Barrugat 84	S.I a.C./VIIId.C.
65	B-05	Adobe	Barrugat 84	S.I a.C./VIIId.C.

66	B-07	Escañizado	Barrugat 84	S.I a.C./VIId.C.
67	B-08	Pared	Barrugat 84	S.I a.C./VIId.C.
68	VR-01	Mortero	Villaricos	Fines S. VI a.C.
69	VR-02	Mortero	Villaricos	Fines S. VI a.C.
70	VR-03	Mortero	Villaricos	Fines S. VI a.C.
71	VR-04	Mortero	Villaricos	500 - 450 a. C.
72	VR-05	Mortero	Villaricos	500 - 450 a. C.
73	VR-06	Mortero	Villaricos	500 - 450 a. C.
74	VR-07	Mortero	Villaricos	450 – 400 a. C.
75	VR-08	Estuco	Villaricos	450 – 400 a. C.
76	VR-09	Estuco	Villaricos	450 – 400 a. C.
77	VR-10	Mortero	Villaricos	450 - 400 a. C.
78	VR-11	Mortero	Villaricos	450 - 400 a. C.
79	VR-12	Mortero	Villaricos	450 - 400 a. C.
80	VR-13	Mortero	Villaricos	450 – 400 a. C.
81	VR-14	Mortero	Villaricos	450 – 400 a. C.
82	VR-15	Estuco	Villaricos	400 – 350 a. C.
83	VR-16	Mortero	Villaricos	400 – 350 a. C.
84	VR-17	Mortero	Villaricos	400 – 350 a. C.
85	VR-18	Mortero	Villaricos	400 – 350 a. C.
86	VR-19	Mortero	Villaricos	400 – 350 a. C.
87	VR-20	Mortero	Villaricos	400 – 350 a. C.
88	VR-21	Estuco	Villaricos	400 – 350 a. C.
89	VR-22	Mortero	Villaricos	400 – 350 a. C.
90	VR-23	Estuco	Villaricos	350 – 300 a. C.
91	VR-24	Mortero	Villaricos	350 – 300 a. C.
92	VR-25	Mortero	Villaricos	350 – 300 a. C.
93	VR-26	Mortero	Villaricos	350 – 300 a. C.
94	VR-27	Mortero	Villaricos	350 – 300 a. C.
95	VR-28	Mortero	Villaricos	300 - 250 a. C.
96	VR-29	Mortero	Villaricos	300 - 250 a. C.
97	VR-30	Mortero	Villaricos	300 - 250 a. C.
98	VR -31	Estuco	Villaricos	300 - 250 a. C.
99	VR-32	Mortero	Villaricos	300 - 250 a. C.
100	VR-33	Mortero	Villaricos	300 - 250 a. C.
101	VR-34	Mortero	Villaricos	300 - 250 a. C.
102	VR-35	Mortero	Villaricos	300 - 250 a. C.
103	VR-36	Mortero	Villaricos	300 - 250 a. C.

104	VR-37	Mortero	Villaricos	206 a. C.
105	VR-38	Mortero	Villaricos	206 a. C.
106	VR-39	Mortero	Villaricos	206 a. C.
107	VR-40	Mortero	Villaricos	Indeterminada
108	CST183-01	Adobe	Cerro del Santuario	V/IIIa.C
109	CST183-02	Adobe	Cerro del Santuario	V/IIIa.C
110	CST183-03	Adobe	Cerro del Santuario	V/IIIa.C
111	CST183-04	Adobe	Cerro del Santuario	V/IIIa.C
112	CST183-05	Adobe	Cerro del Santuario	V/IIIa.C
113	CST183-06	Adobe	Cerro del Santuario	V/IIIa.C
114	CST183-07	Adobe	Cerro del Santuario	V/IIIa.C
115	CST183-08	Adobe	Cerro del Santuario	V/IIIa.C
116	CST183-09	Adobe	Cerro del Santuario	V/IIIa.C
117	CST183-10	Adobe	Cerro del Santuario	V/IIIa.C
118	CST183-11	Adobe	Cerro del Santuario	V/IIIa.C
119	CST183-12	Adobe	Cerro del Santuario	V/IIIa.C
120	CST183-13	Tierra	Cerro del Santuario	V/IIIa.C
121	BAZ 001-01	Tierra	Cerro Cepero	S. II a.C.
122	BAZ 001-02	Adobe	Cerro Cepero	S. II a.C.
123	BAZ 001-03	Adobe	Cerro Cepero	S. II a.C.

Material Constructivo

Registros 123

Imagen

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

Buscar

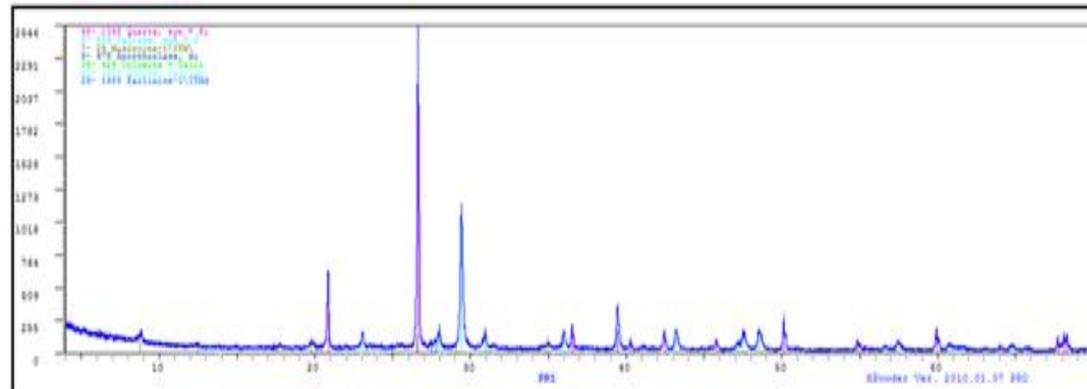
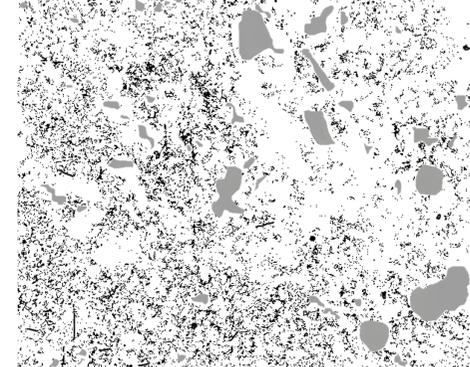
Imprimir

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-01	Nº Inventario	01	Localización	Zona 2 - ambiente s

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	7.5YR 7/3 PINK	Naturaleza	Adobe
-------------------	-----------------	--------------	-------------------	-------------------	-------

Observaciones

Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión que entre longitud: 24-50 cm; Ancho: 19-20 cm.; grosor: 15-16 cm.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ANORTOCLASA, ALBITA, CAOLINITA



Material Constructivo

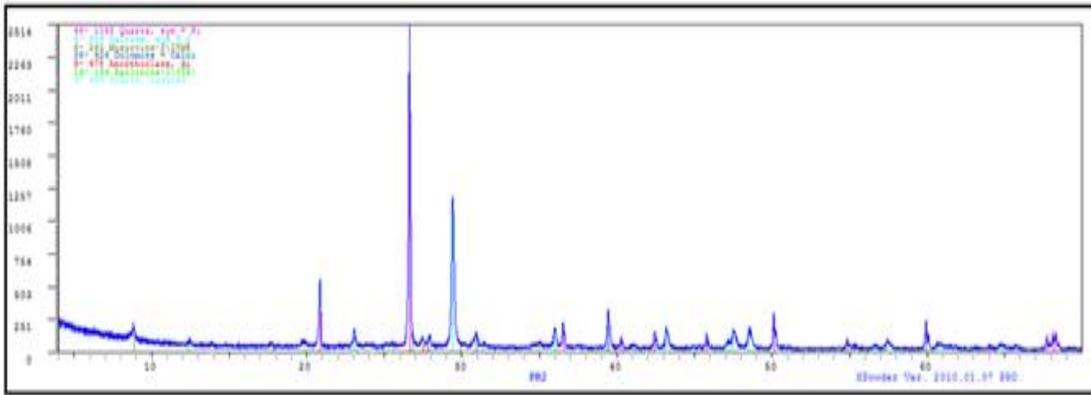
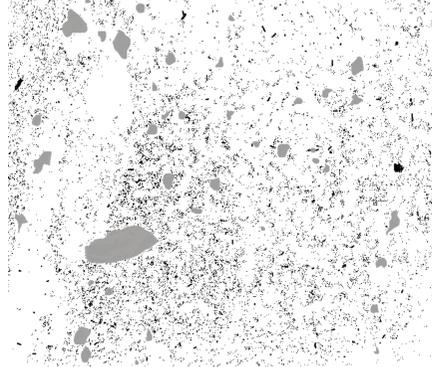
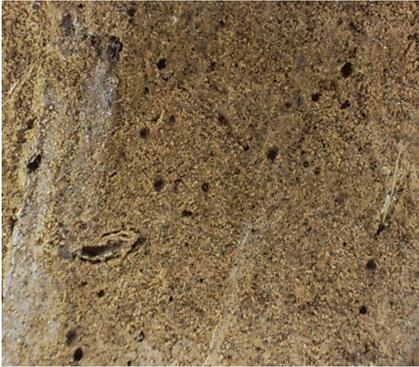
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-02	Nº Inventario	02	Localización	Zona 2 - ambiente s

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	7.5YR 7/3 PINK	Naturaleza	Adobe
-------------------	-----------------	--------------	-------------------	-------------------	-------

Observaciones Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión que entre longitud: 24-50 cm; Ancho: 19-20 cm.; grosor: 15-16 cm.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ANORTOCLASA, ALBITA, CAOLINITA



Material Constructivo

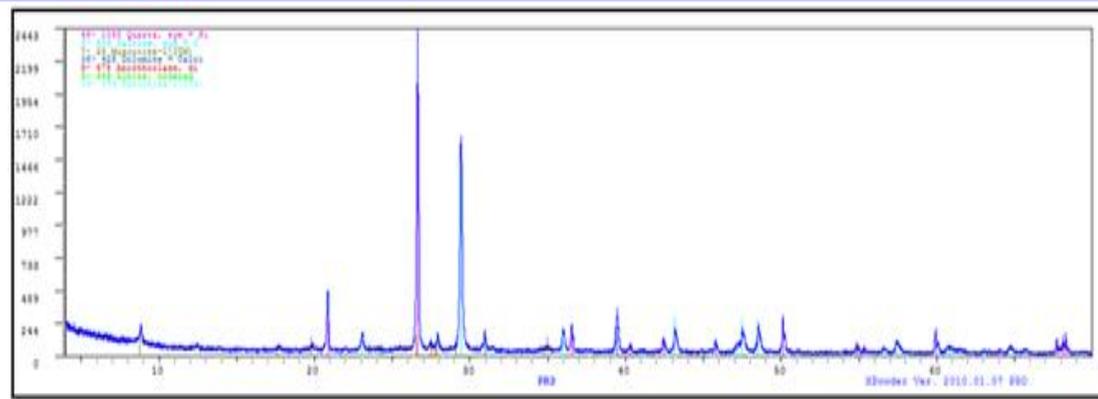
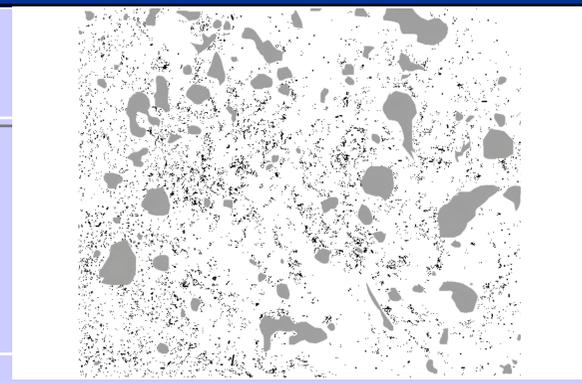
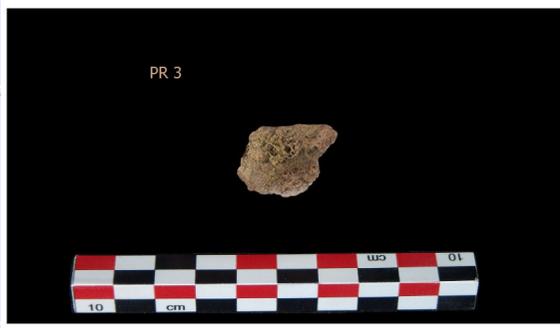
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-03	Nº Inventario	03	Localización	Zona 2 - ambiente s

Cronología	s. IV a. C.	Color	5YR 7/2 PINKISH GRAY	Naturaleza	Adobe
------------	-------------	-------	-------------------------	------------	-------

Observaciones
Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión que entre longitud: 24-50 cm; Ancho: 19-20 cm.; grosor: 15-16 cm.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ANORTOCLASA, ALBITA, CAOLINITA



Material Constructivo

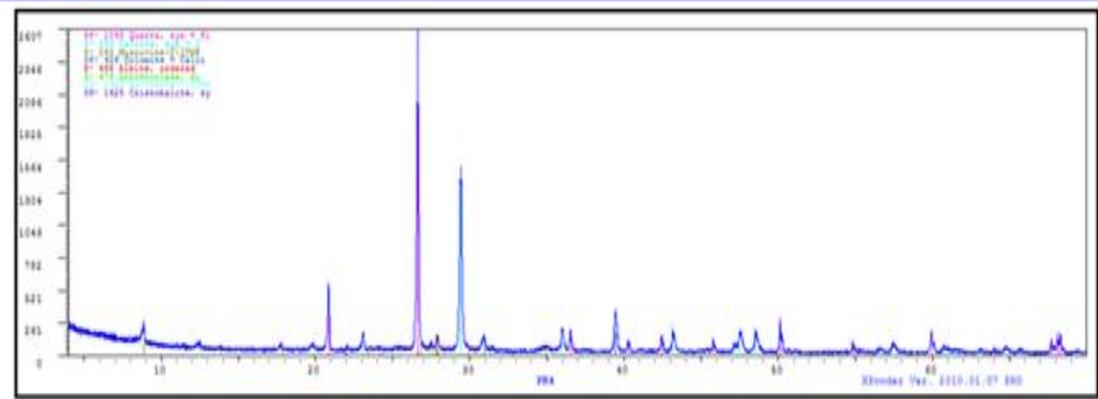
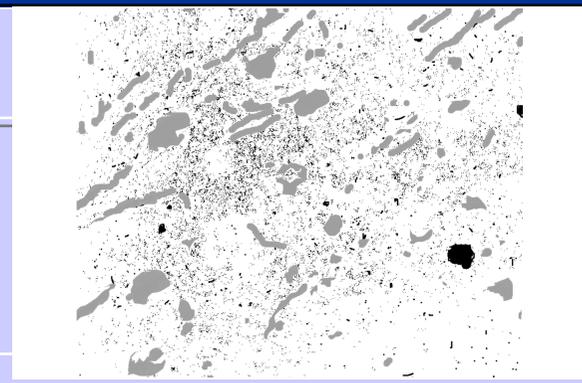
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-04	Nº Inventario	04	Localización	Zona 2 - ambiente s

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	7.5YR 5/1 GRAY	Naturaleza	Adobe quemado
-------------------	-----------------	--------------	-------------------	-------------------	---------------

Observaciones Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión que entre longitud: 24-50 cm; Ancho: 19-20 cm.; grosor: 15-16 cm.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, ANORTOCLASA, CAOLINITA, CRISTOBALITA



Material Constructivo

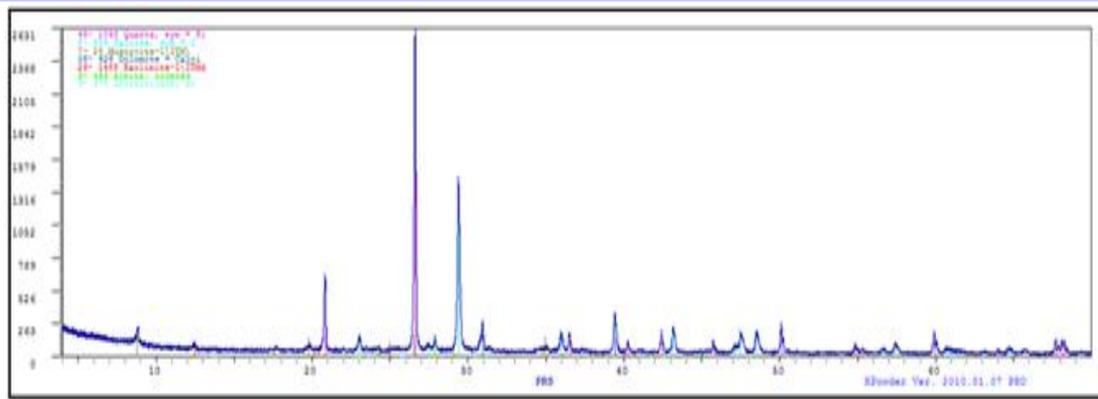
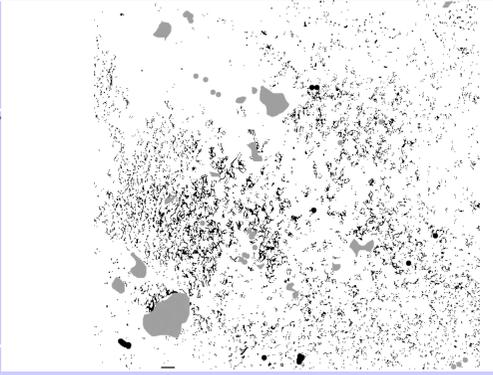
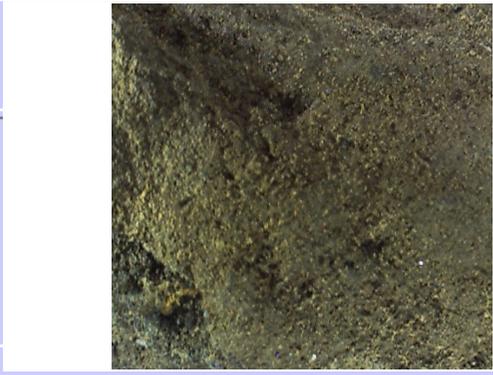
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-05	Nº Inventario	05	Localización	Zona 2 - ambiente s

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	7.5YR 6/2 PINKISH GRAY	Naturaleza	Adobe
-------------------	-----------------	--------------	---------------------------	-------------------	-------

Observaciones
Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión que entre longitud: 24-50 cm; Ancho: 19-20 cm.; grosor: 15-16 cm.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ANORTOCLASA, ALBITA, CAOLINITA



Material Constructivo

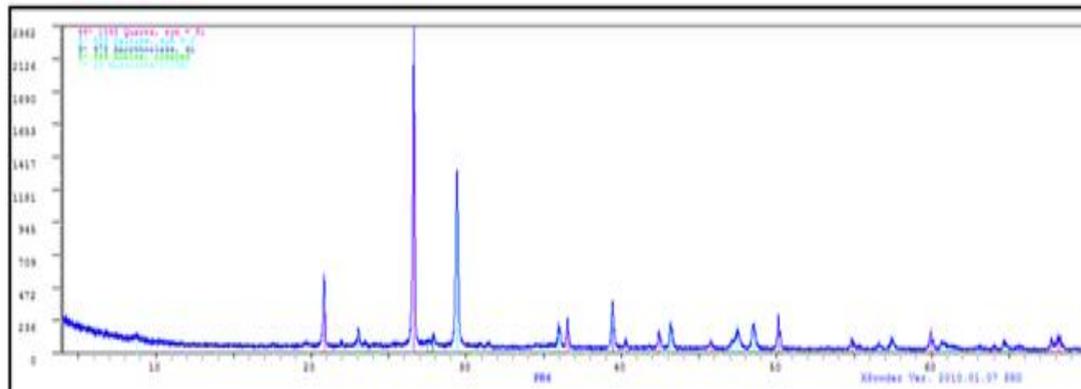
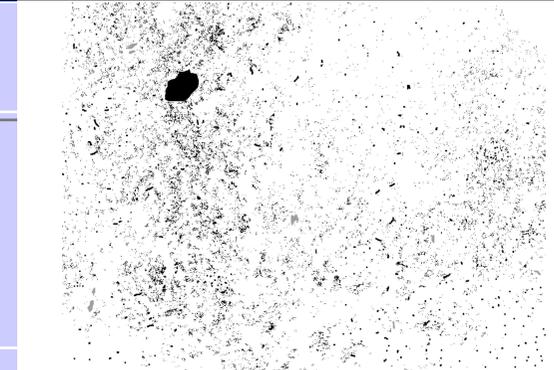
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-06	Nº Inventario	06	Localización	Zona 2 - ambiente s

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	7.5YR 7/2 PINKISH	Naturaleza	Adobe
------------	-----------------	-------	----------------------	------------	-------

Observaciones Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión que entre longitud: 24-50 cm; Ancho: 19-20 cm.; grosor: 15-16 cm.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ANORTOCLASA, ALBITA



Material Constructivo

Registros 123

Imagen

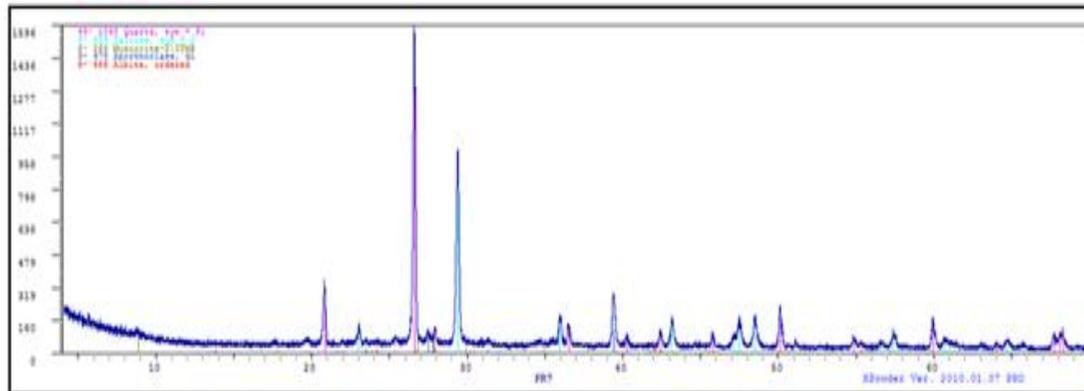
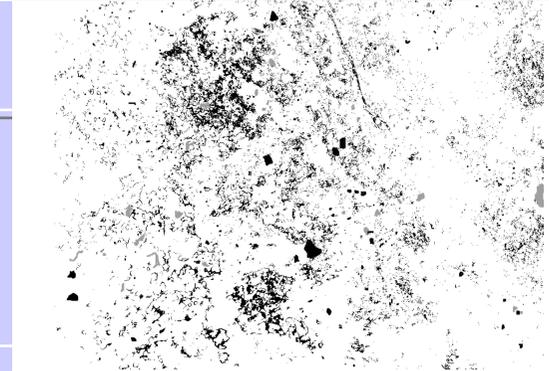
- Nuevo
- Borrar
- Todos
- Ordenar
- Buscar
- Imprimir

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-07	Nº Inventario	07	Localización	Zona 2 - ambiente s

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	7.5YR 7/3 PINK	Naturaleza	Adobe
------------	-----------------	-------	-------------------	------------	-------

Observaciones

Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión que entre longitud: 24-50 cm; Ancho: 19-20 cm.; grosor: 15-16 cm.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ANORTOCLASA, ALBITA



Material Constructivo

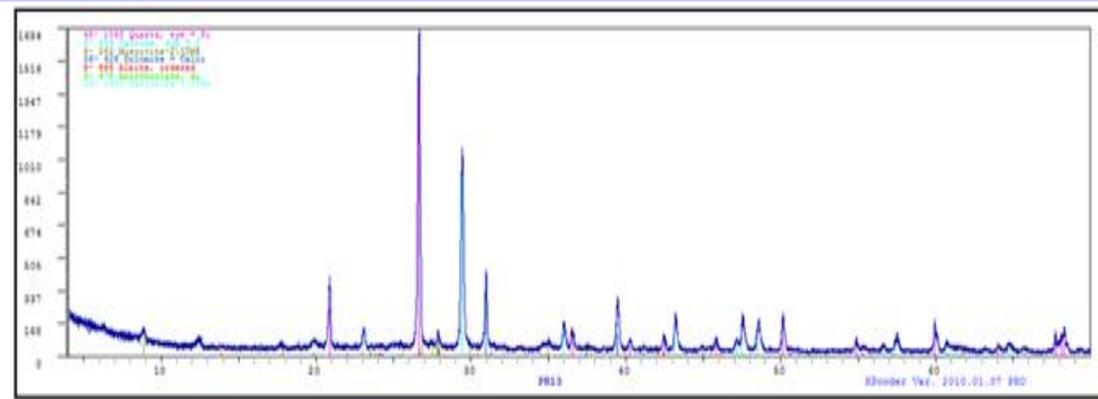
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-13	Nº Inventario	08	Localización	Zona 2 - estructura y

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	5YR 7/3 PINK	Naturaleza	Argamasa/Muralla
-------------------	-----------------	--------------	-----------------	-------------------	------------------

Observaciones Fragmento de argamasa de muralla extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, ANORTOCLASA, CAOLINITA
Fragmento 001



Material Constructivo

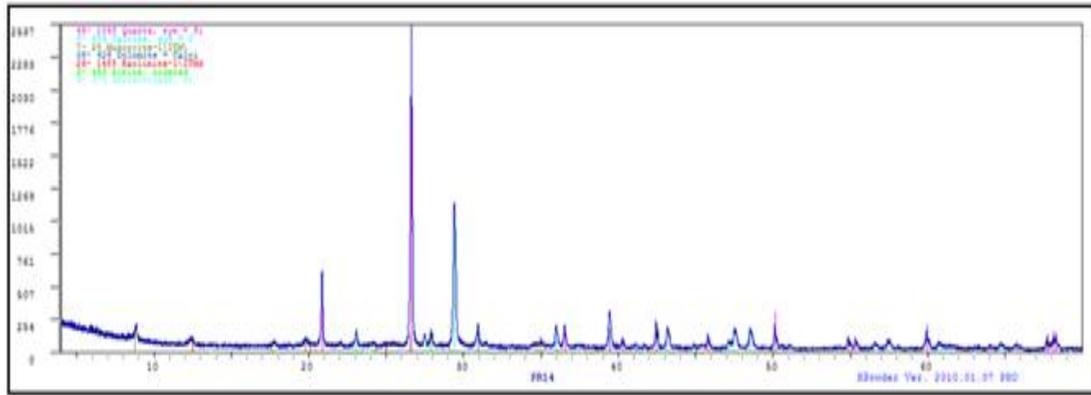
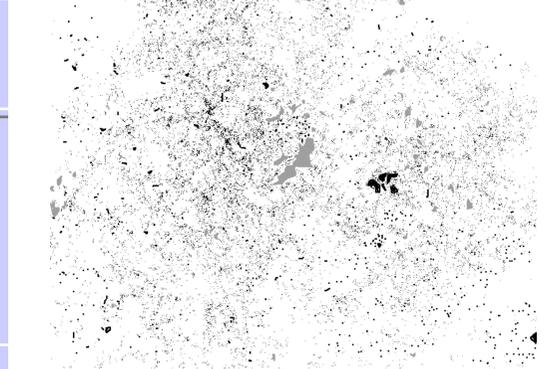
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-14	Nº Inventario	09	Localización	Zona 2 - estructura y

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	5YR 7/3 PINK	Naturaleza	Argamasa/Muralla
------------	-----------------	-------	-----------------	------------	------------------

Observaciones
Fragmento de argamasa de muralla extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, ANORTOCLASA, CAOLINITA
Fragmento 002



Material Constructivo

Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

Buscar

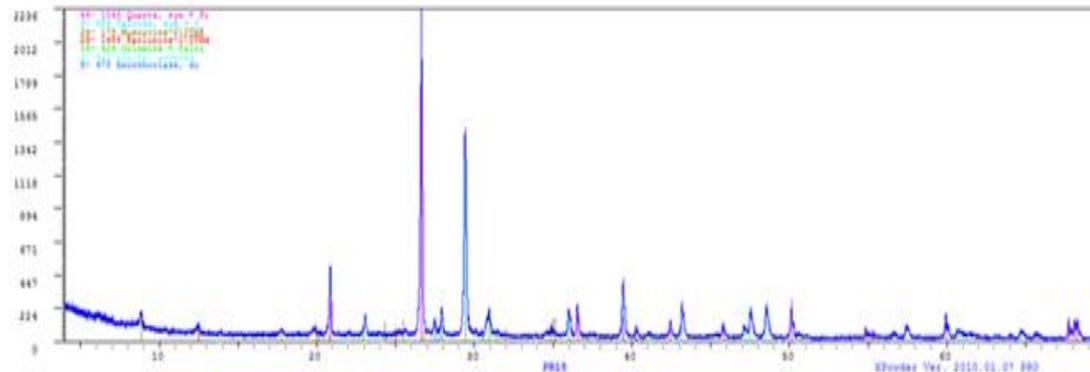
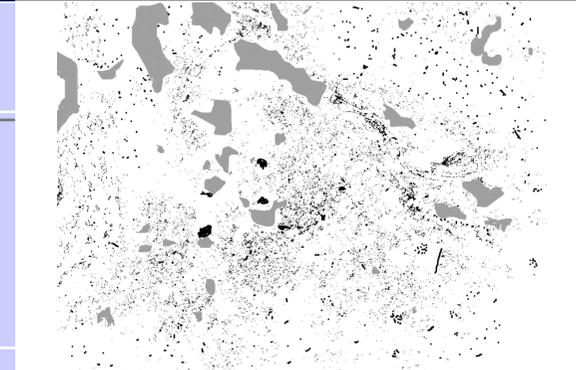
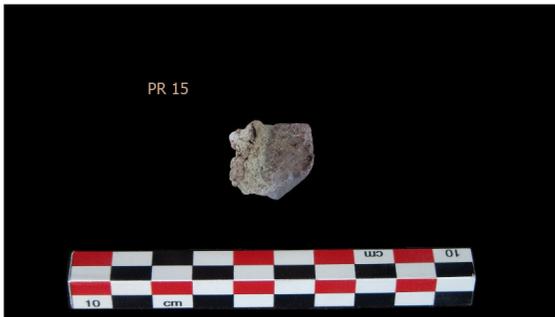
Imprimir

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-15	Nº Inventario	10	Localización	Zona 2 - estructura y

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	7.5YR 7/3 PINK	Naturaleza	Argamasa/Muralla
-------------------	-----------------	--------------	-------------------	-------------------	------------------

Observaciones

**Fragmento de argamasa de muralla extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, ANORTOCLASA, CAOLINITA
Fragmento 003**



Material Constructivo

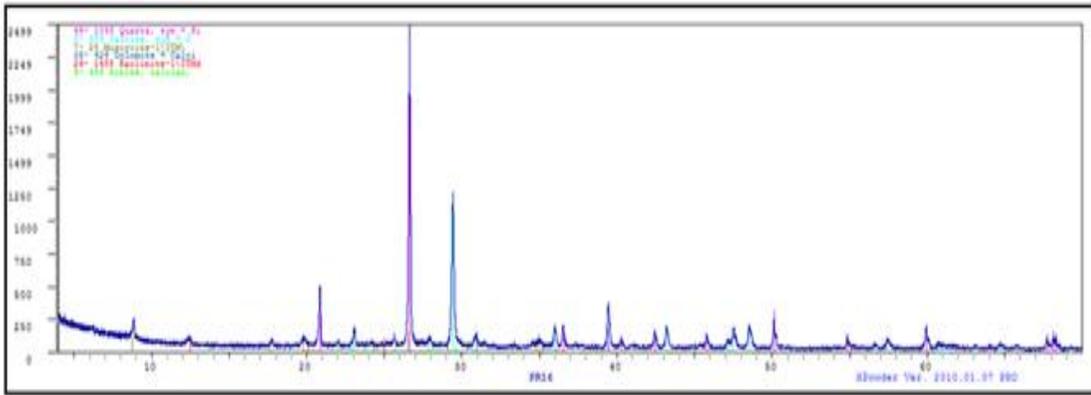
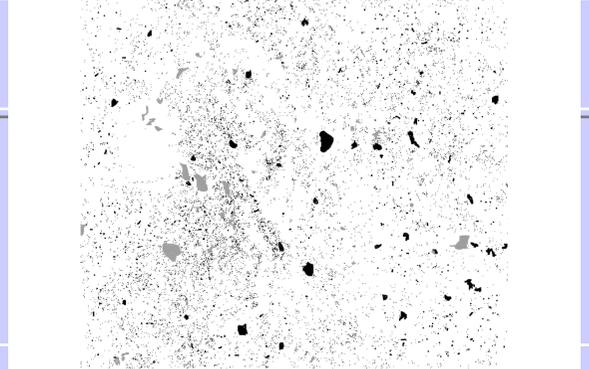
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-16	Nº Inventario	11	Localización	Zona 2 - estructura y

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	5YR 6/3 LIGHT REDDISH	Naturaleza	Argamasa/Muralla
-------------------	-----------------	--------------	--------------------------	-------------------	------------------

Observaciones Fragmento de argamasa de muralla extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, CAOLINITA
Fragmento 004



Material Constructivo

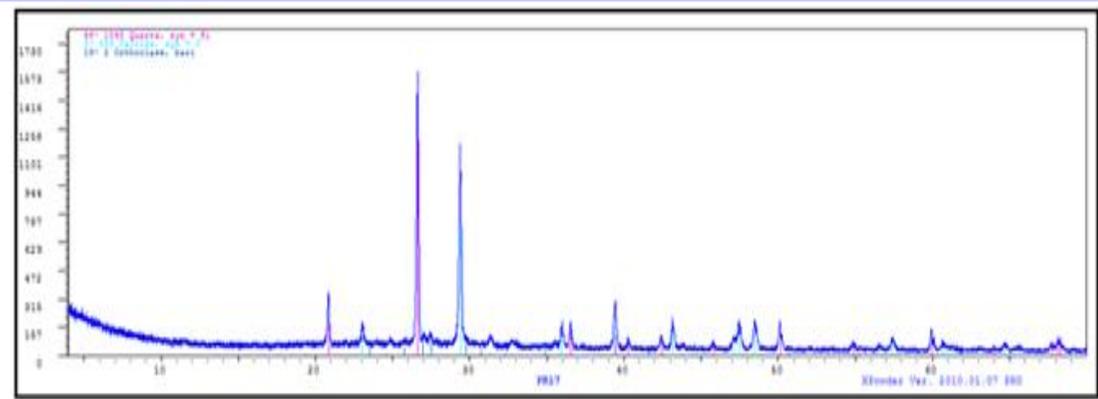
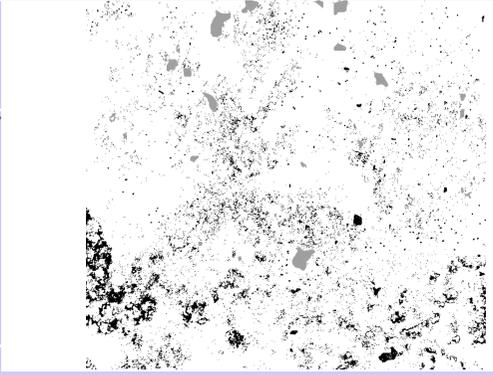
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-17	Nº Inventario	12	Localización	Zona 2 - estructura b

Cronología	s. IX / I a. C.	Color	7.5YR 8/2 PINKISH WHITE	Naturaleza	Argamasa/Adobe
-------------------	-----------------	--------------	----------------------------	-------------------	----------------

Observaciones
Fragmento de argamasa adherida a adobe extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, ORTOCLASA



Material Constructivo

Registros 123

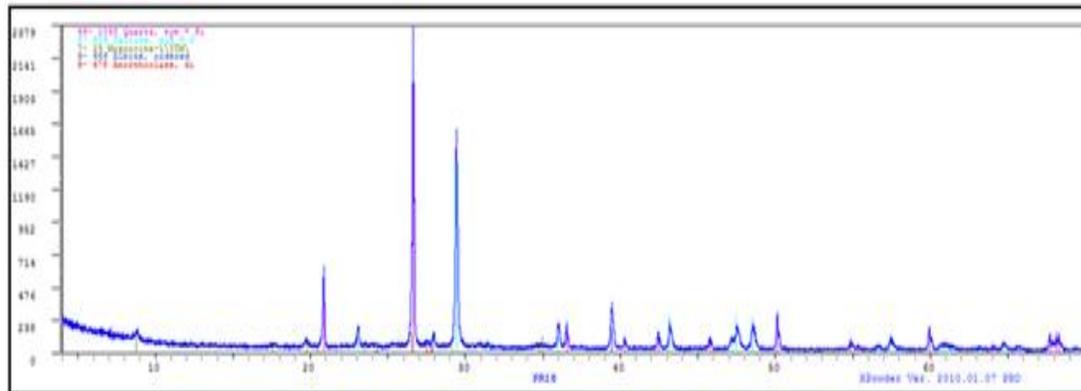
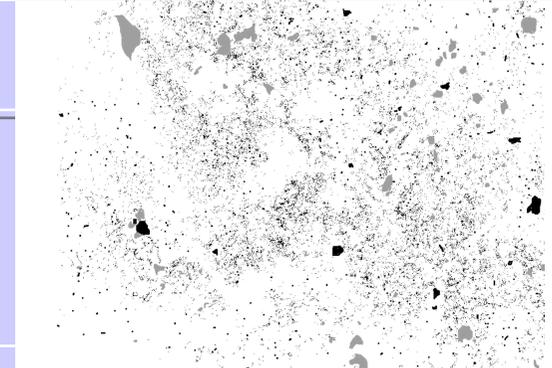
Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-18	Nº Inventario	13	Localización	Zona 2 - estructura b

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	7.5YR 7/2 PINKISH GRAY	Naturaleza	Adobe
------------	-----------------	-------	---------------------------	------------	-------

Observaciones

Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión que entre longitud: 24-50 cm; Ancho: 19-20 cm.; grosor: 15-16 cm. Con capa de pintura.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ANORTOCLASA, ALBITA



Material Constructivo

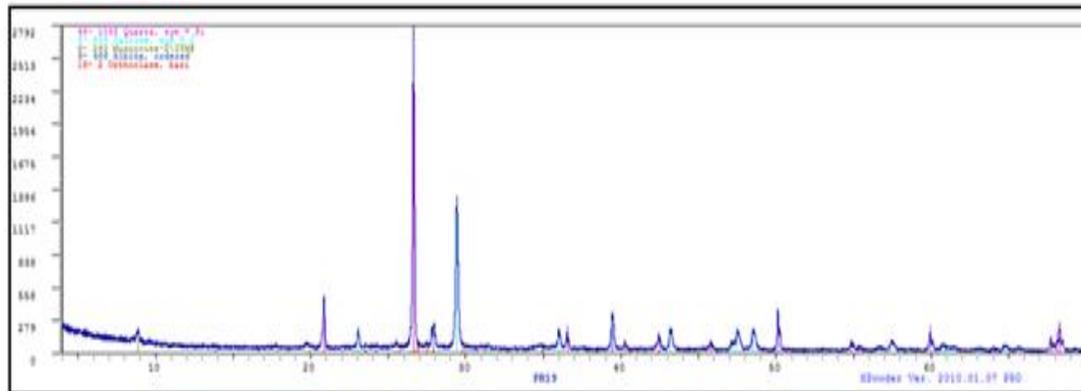
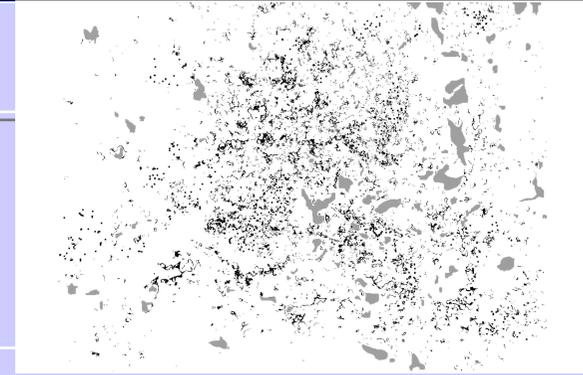
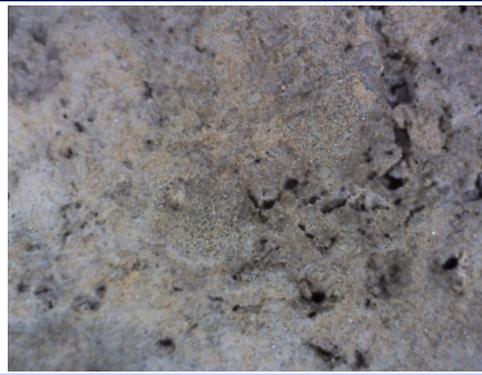
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-19	Nº Inventario	14	Localización	Casa Delta - sector 1/101

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	7.5YR 7/2 PINKISH GRAY	Naturaleza	Adobe
-------------------	-----------------	--------------	---------------------------	-------------------	-------

Observaciones Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión que entre longitud: 24-50 cm; Ancho: 19-20 cm.; grosor: 15-16 cm.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ORTOCLASA, ALBITA
Excavación de 1997



Material Constructivo

Registros 123

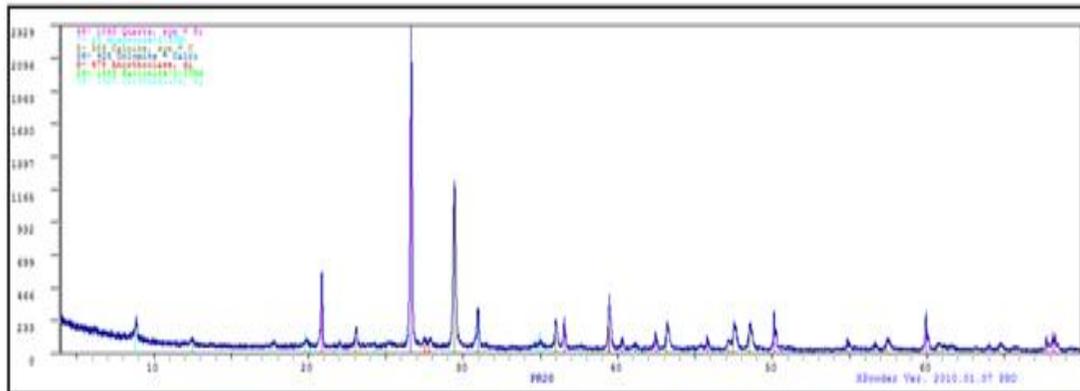
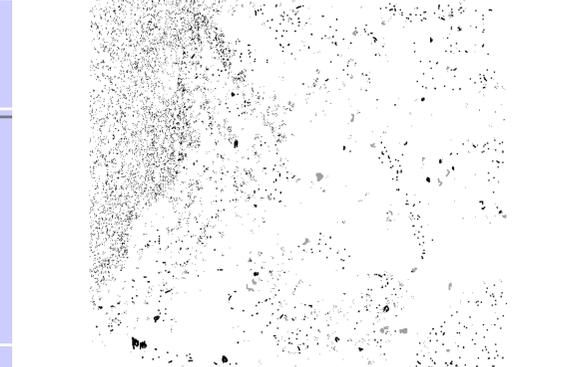
Imagen
◀▶◀▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-20	Nº Inventario	15	Localización	Superficie

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	7.5YR 5/1 GRAY	Naturaleza	Adobe quemado
-------------------	-----------------	--------------	-------------------	-------------------	---------------

Observaciones

Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión que entre longitud: 24-50 cm; Ancho: 19-20 cm.; grosor: 15-16 cm.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, ANORTOCLASA, CAOLINITA, CRISTOBALITA - Excavación de 1997



Material Constructivo

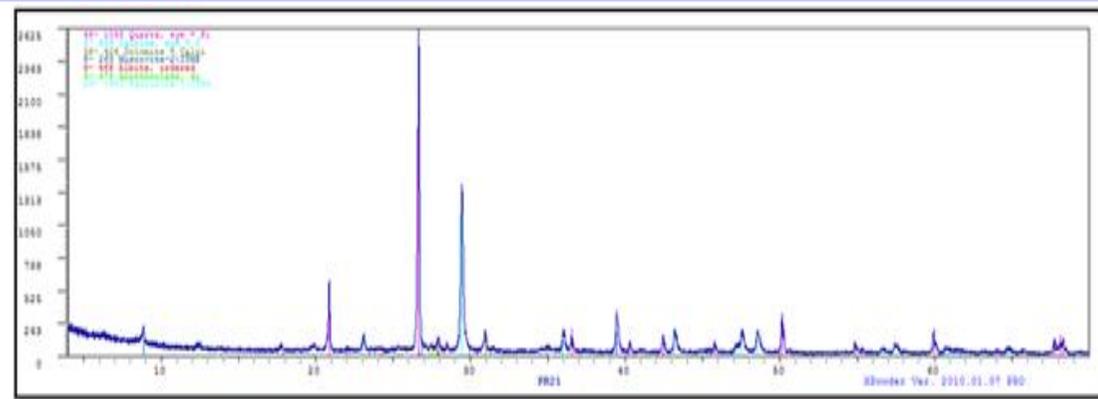
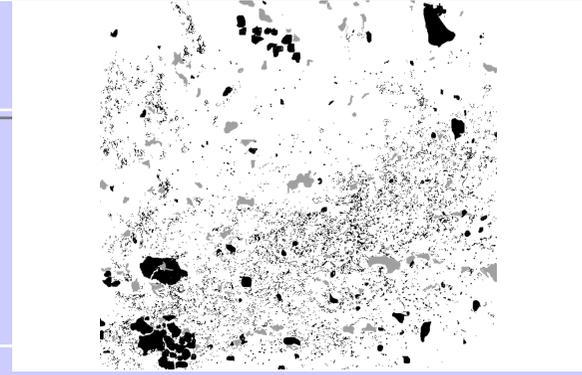
Registros 123

Imagen

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-21	Nº Inventario	16	Localización	Zona 2

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	7.5YR 7/2 PINKISH GRAY	Naturaleza	Pavimento
-------------------	-----------------	--------------	---------------------------	-------------------	-----------

Observaciones
Fragmento extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ANORTOCLASA, ALBITA, DOLOMITA, CAOLINITA
Excavación de 1997



Material Constructivo

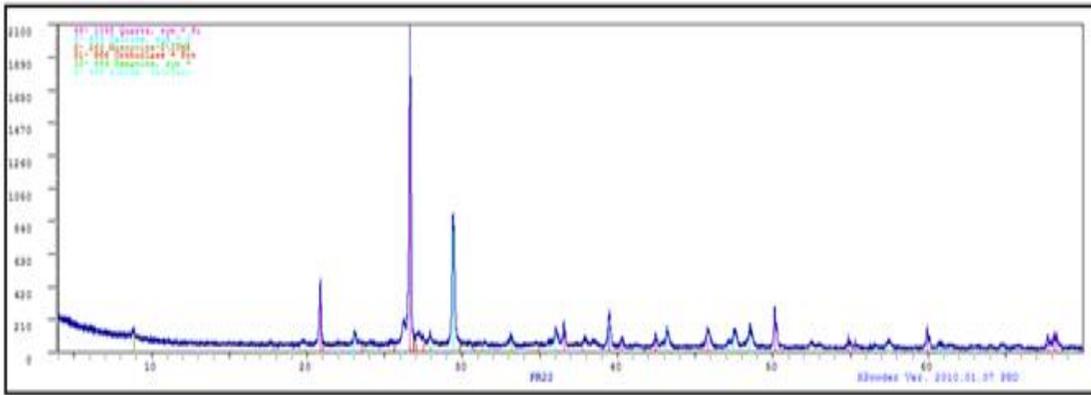
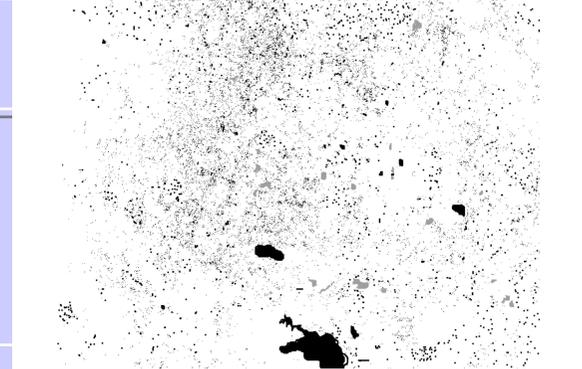
Registros 123

Imagen

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-22	Nº Inventario	17	Localización	Zona 2 - estructura b

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	10YR 7/2 LIGHT GRAY	Naturaleza	Muro
------------	-----------------	-------	------------------------	------------	------

Observaciones
Fragmento de muro extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ALBITA, ORTOCLASA, HEMATITA



Material Constructivo

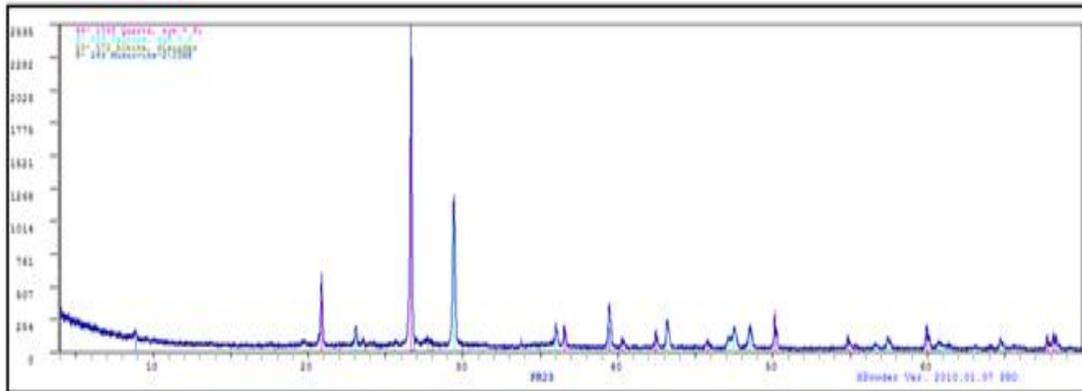
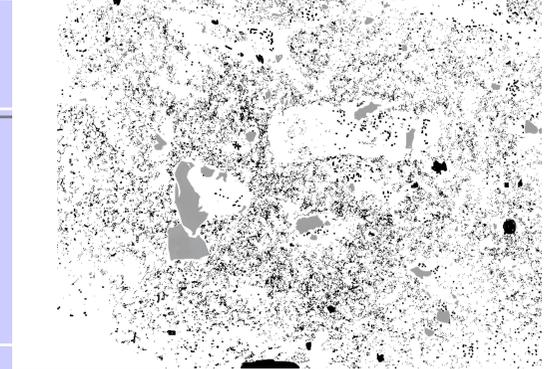
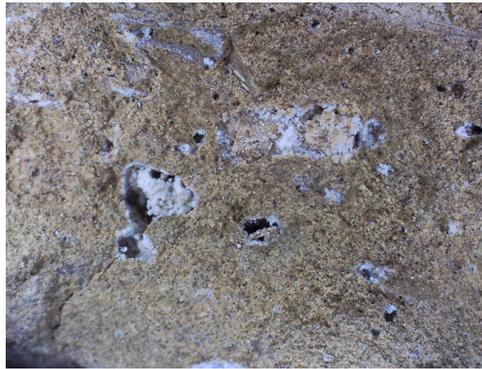
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-23	Nº Inventario	18	Localización	Muralla M10-11

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	7.5YR 7/2 PINKISH GRAY	Naturaleza	Muralla
-------------------	-----------------	--------------	---------------------------	-------------------	---------

Observaciones Fragmento de muralla extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ALBITA
Excavación de 1998



Material Constructivo

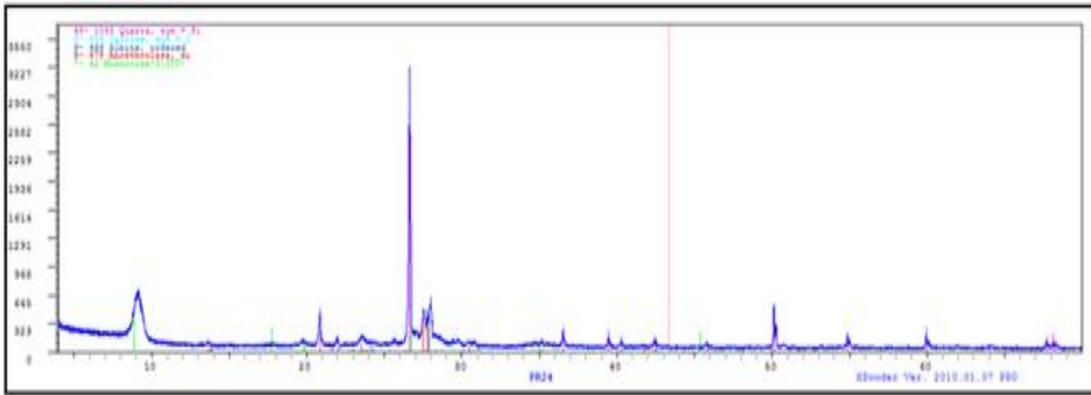
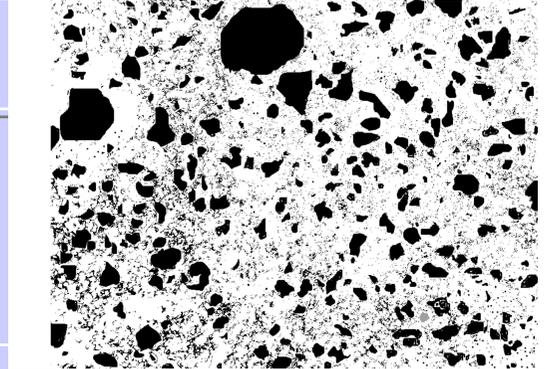
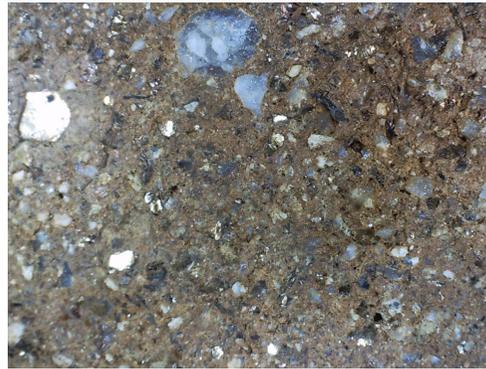
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-24	Nº Inventario	19	Localización	Zona 1 - área E

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	7.5YR 6/3 LIGHT BROWN	Naturaleza	Adobe
------------	-----------------	-------	--------------------------	------------	-------

Observaciones Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión que entre longitud: 24-50 cm; Ancho: 19-20 cm.; grosor: 15-16 cm. Campaña anterior a 1977.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ANORTOCLASA, ALBITA
Excavación de anterior a 1977



Material Constructivo

Registros 123

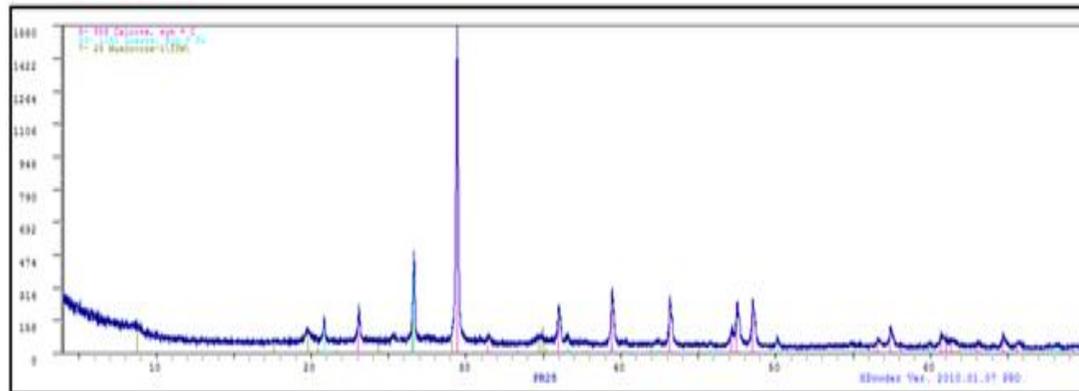
Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-25	Nº Inventario	20	Localización	Habitación D - nº 102

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	7.5YR 7/4 PINK	Naturaleza	Soporte
-------------------	-----------------	--------------	-------------------	-------------------	---------

Observaciones

**Fragmento extraído de pieza de dimensión indeterminada. Campaña de 97.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA
Excavación de 1997**



Material Constructivo

Registros 123

Imagen

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

Buscar

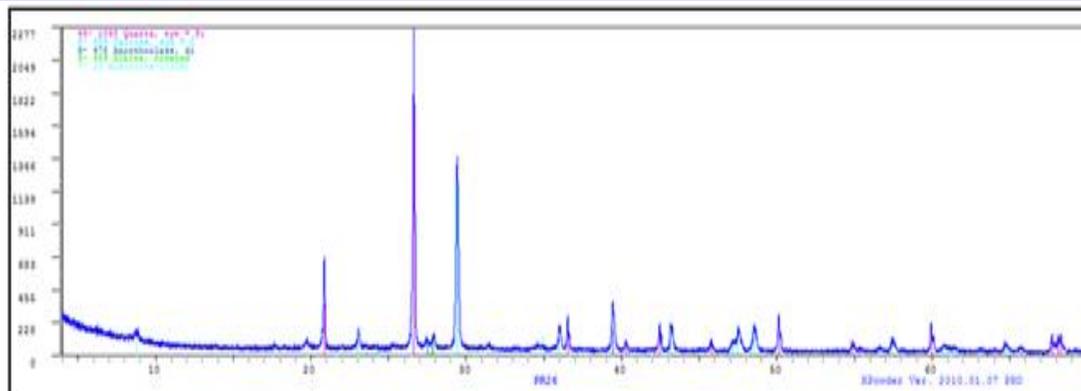
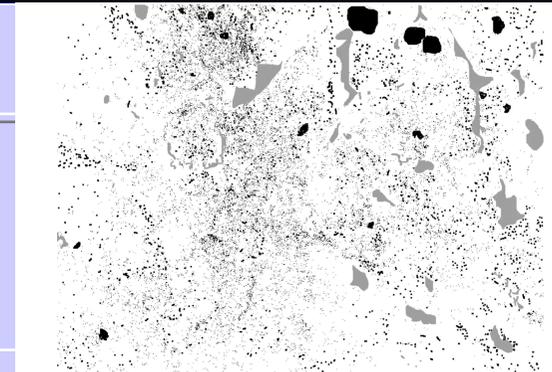
Imprimir

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-26	Nº Inventario	21	Localización	Habitación D - nº 102

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	5YR 7/4 PINK	Naturaleza	Adobe
-------------------	-----------------	--------------	-----------------	-------------------	-------

Observaciones

Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión que entre longitud: 24-50 cm; Ancho: 19-20 cm.; grosor: 15-16 cm.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ANORTOCLASA, ALBITA
Excavación de 1997



Material Constructivo

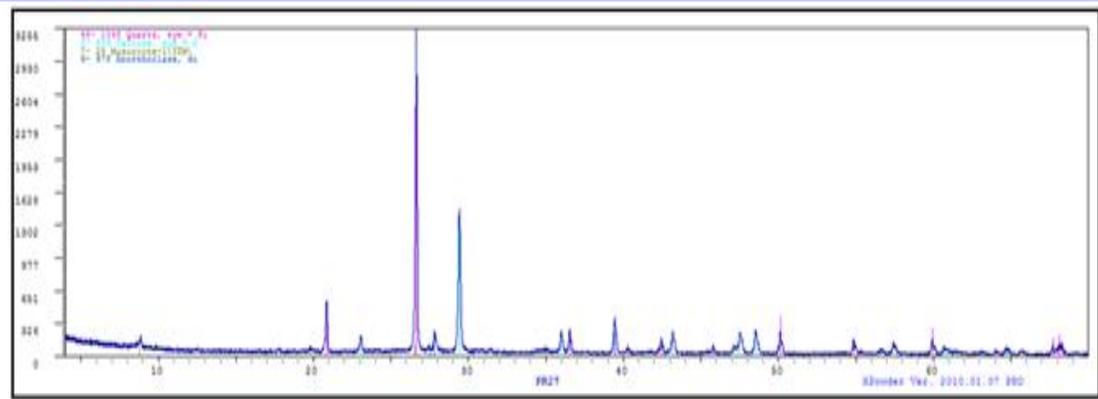
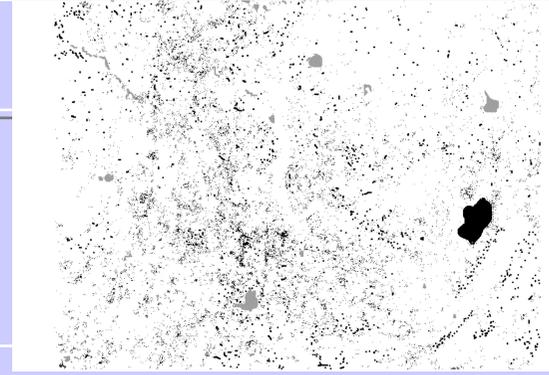
Registros 123

Imagen

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-27	Nº Inventario	22	Localización	Casa O

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	5YR 7/3 PINK	Naturaleza	Pavimento
------------	-----------------	-------	-----------------	------------	-----------

Observaciones
Fragmento extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ANORTOCLASA
Excavación de 1997



Material Constructivo

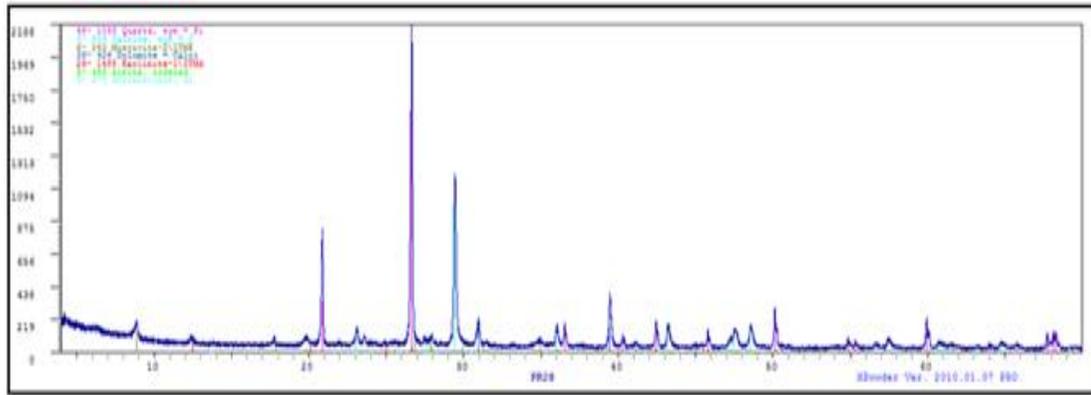
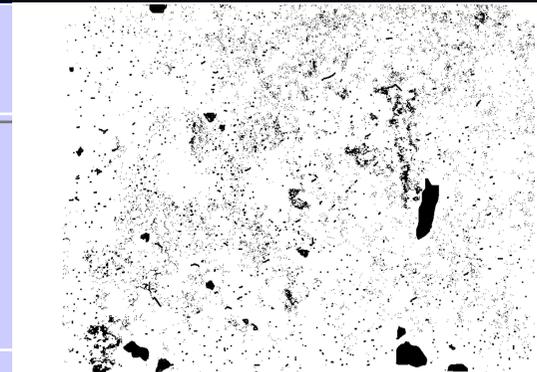
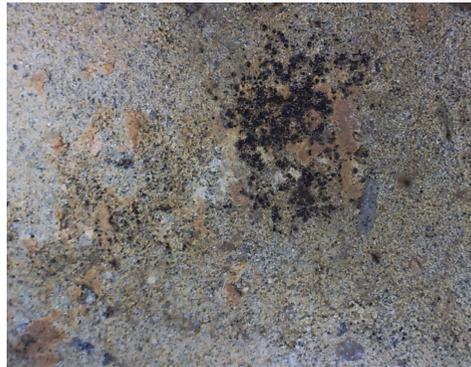
Registros 123

Imagen

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-28	Nº Inventario	23	Localización	Casa X

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	5YR 6/3 LIGHT REDDISH	Naturaleza	Pavimento
------------	-----------------	-------	--------------------------	------------	-----------

Observaciones Fragmento extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ANORTOCLASA, ALBITA, DOLOMITA, CAOLINITA
Excavación de 1997



Material Constructivo

Registros 123

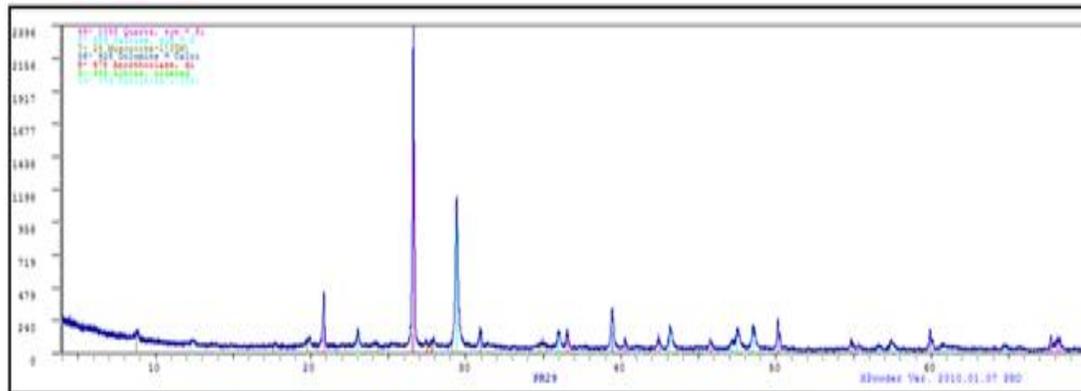
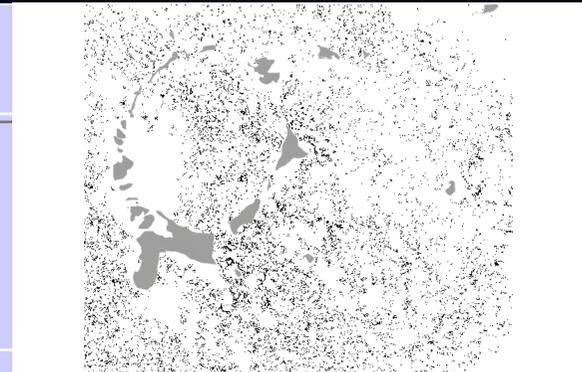
Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-29	Nº Inventario	24	Localización	Sondeo VIII

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	5YR 7/1 LIGHT GRAY	Naturaleza	Adobe c/ ceniza
-------------------	-----------------	--------------	-----------------------	-------------------	-----------------

Observaciones

Fragmento de adobe con ceniza extraído de pieza de dimensión que entre longitud: 24-50 cm; Ancho: 19-20 cm.; grosor: 15-16 cm.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ANORTOCLASA, ALBITA, CAOLINITA
- Excavación de 1994



Material Constructivo

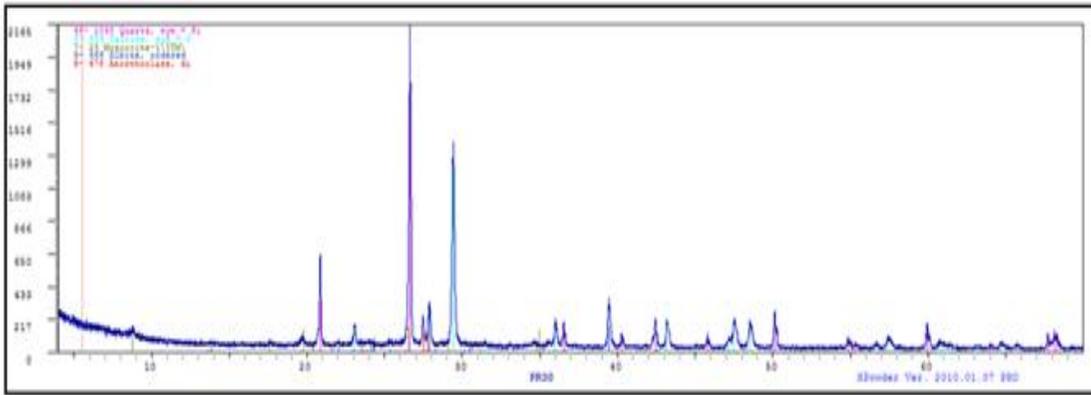
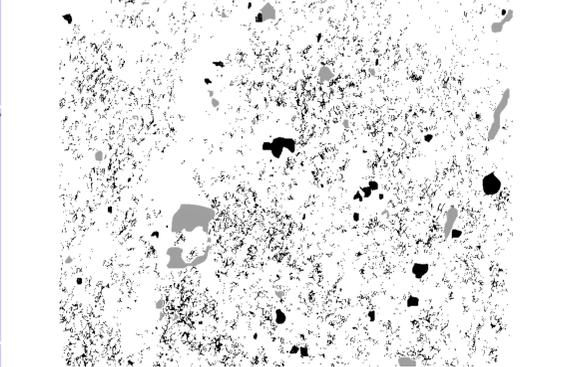
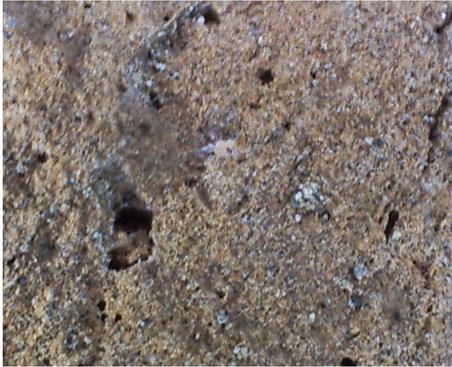
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Puig Roig		
Siglado	PR-30	Nº Inventario	25	Localización	Casa O

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	5YR 7/4 PINK	Naturaleza	Pavimento
------------	-----------------	-------	-----------------	------------	-----------

Observaciones
Fragmento extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ANORTOCLASA, ALBITA
Excavación de 1991



Material Constructivo

Registros 123

Imagen

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

Buscar

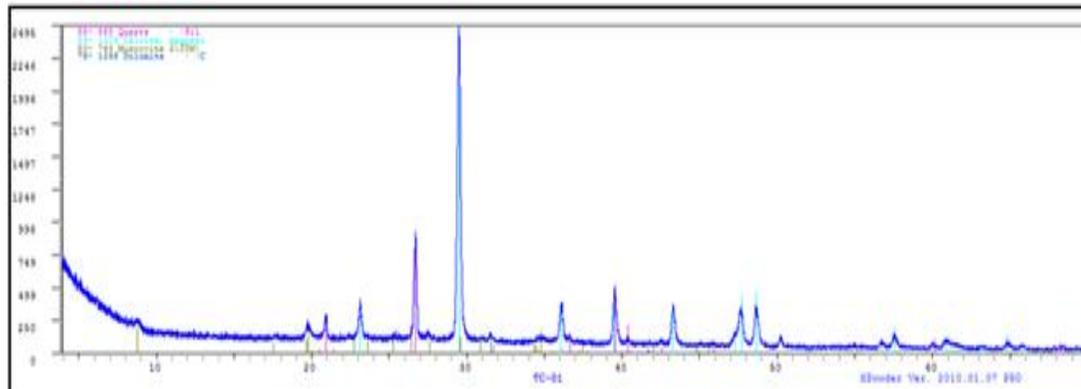
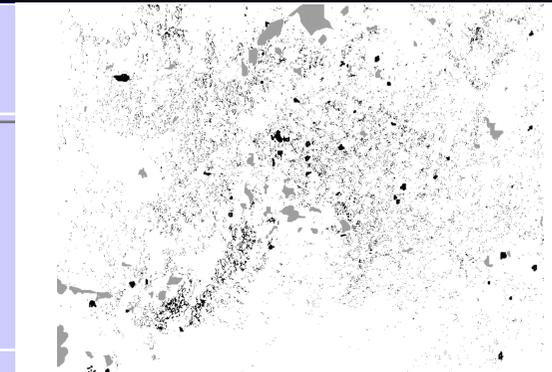
Imprimir

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Turó del Calvari		
Siglado	TC-01	Nº Inventario	26	Localización	Indeterminada

Cronología	600 - 550 a. C.	Color	7.5YR 7/3 PINK	Naturaleza	Estuco
-------------------	-----------------	--------------	-------------------	-------------------	--------

Observaciones

Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA



Material Constructivo

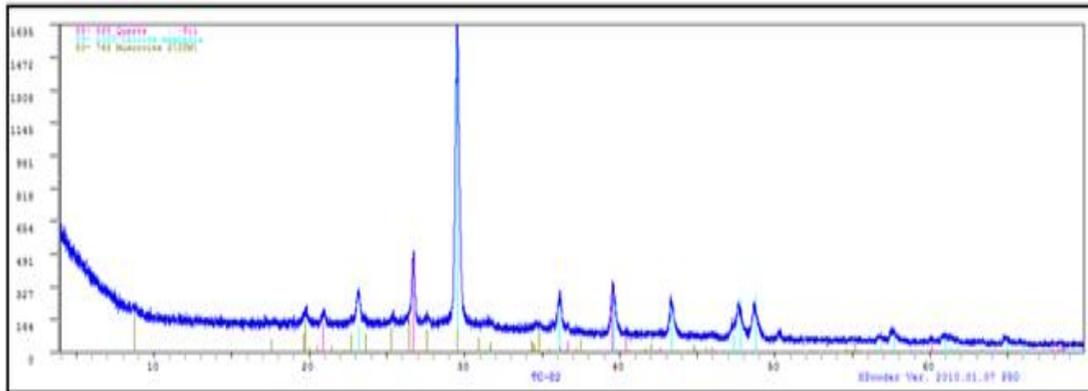
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Turó del Calvari		
Siglado	TC-02	Nº Inventario	27	Localización	Indeterminada

Cronología	600 - 550 a. C.	Color	7.5YR 8/3 PINK	Naturaleza	Revestimiento
-------------------	-----------------	--------------	-------------------	-------------------	---------------

Observaciones Fragmento de revestimiento extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA



Material Constructivo

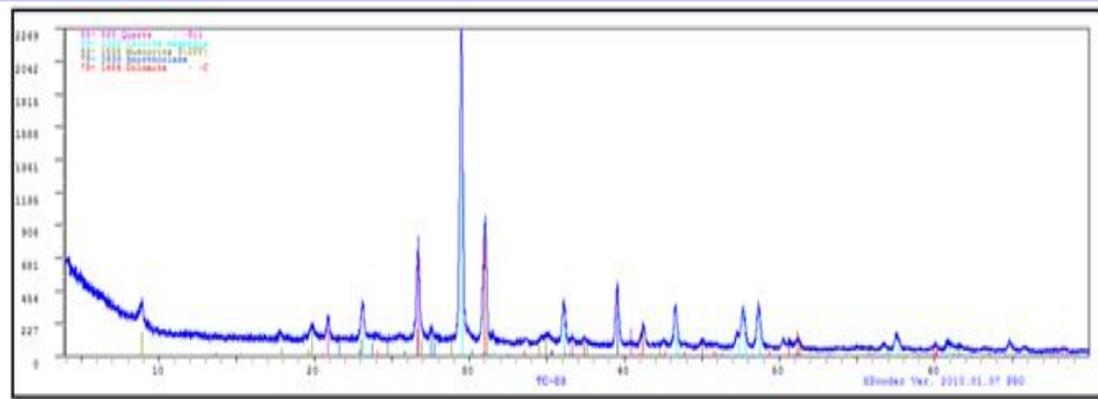
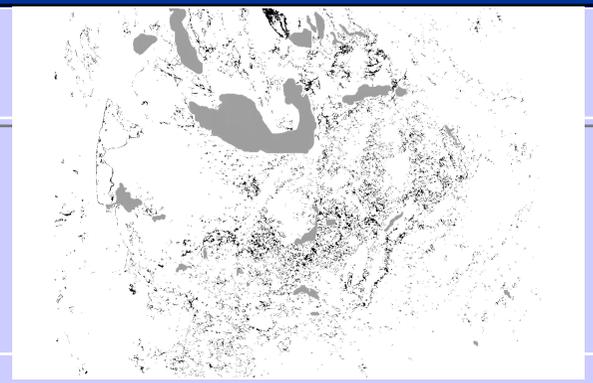
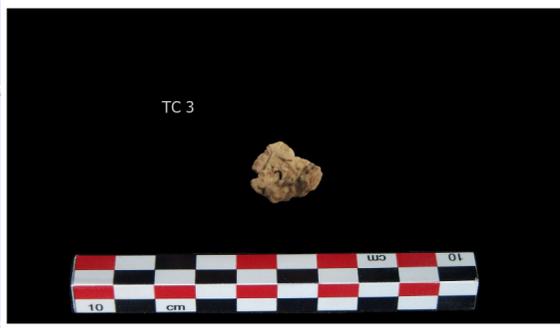
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Turó del Calvari		
Siglado	TC-03	Nº Inventario	28	Localización	Indeterminada

Cronología	600 - 550 a. C.	Color	5YR 7/4 PINK	Naturaleza	Estuco
-------------------	-----------------	--------------	-----------------	-------------------	--------

Observaciones
Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ANORTOCLASA



Material Constructivo

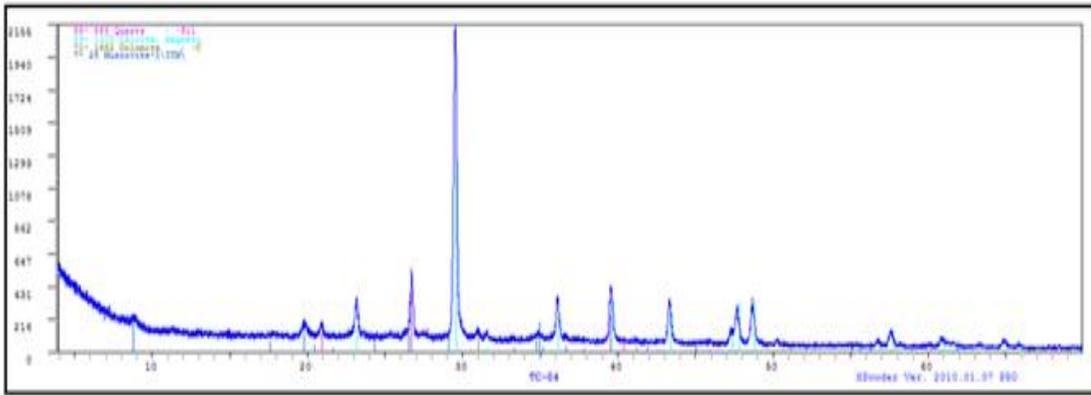
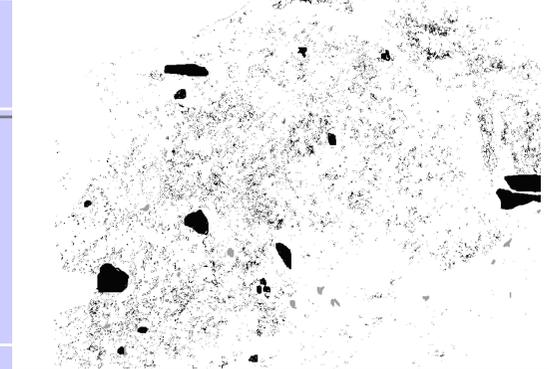
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Turó del Calvari		
Siglado	TC-04	Nº Inventario	29	Localización	Indeterminada

Cronología	600 - 550 a. C.	Color	7.5YR 7/6 REDDISH YELLOW	Naturaleza	Estuco
-------------------	-----------------	--------------	-----------------------------	-------------------	--------

Observaciones
Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA



Material Constructivo

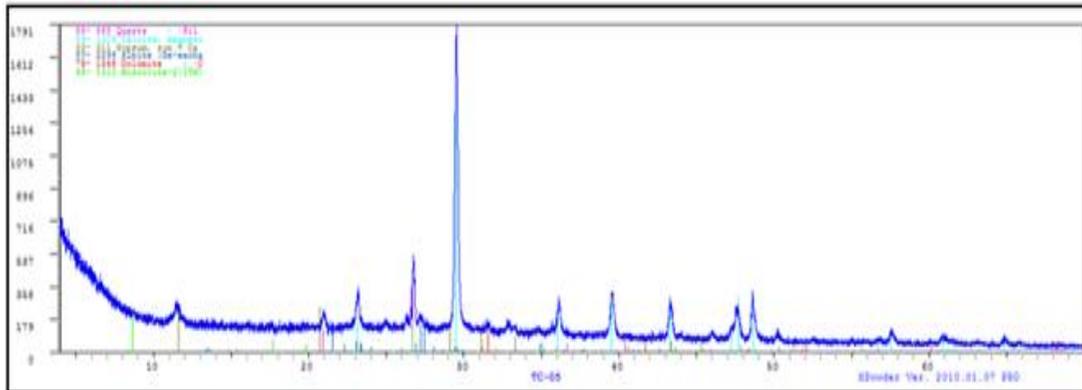
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Turó del Calvari		
Siglado	TC-05	Nº Inventario	30	Localización	Indeterminada

Cronología	600 - 550 a. C.	Color	7.5YR 8/3 PINK	Naturaleza	Revestimiento
-------------------	-----------------	--------------	-------------------	-------------------	---------------

Observaciones Fragmento de revestimiento extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ALBITA, DOLOMITA, YESO



Material Constructivo

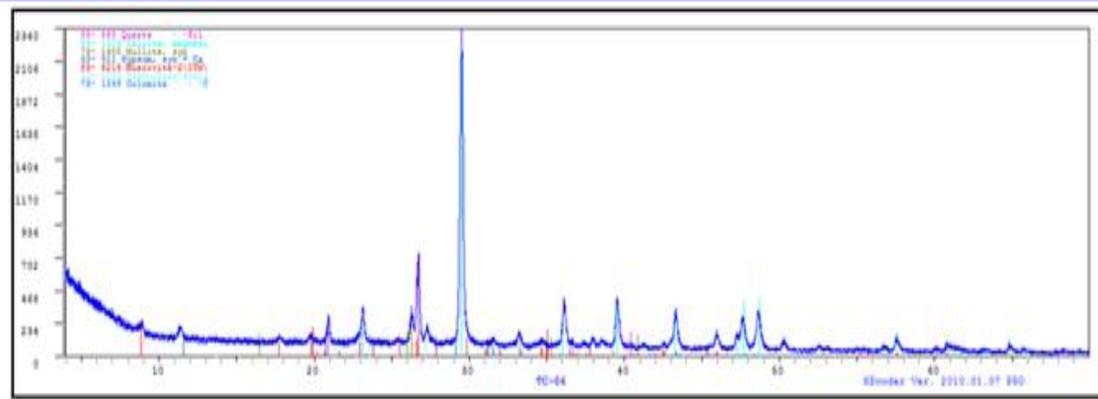
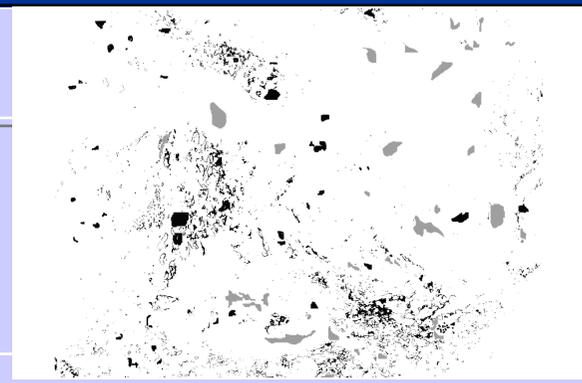
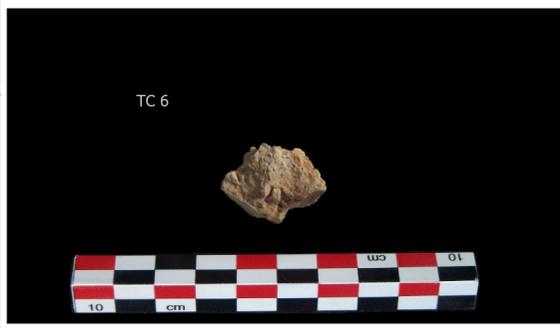
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Turó del Calvari		
Siglado	TC-06	Nº Inventario	31	Localización	Indeterminada

Cronología	600 - 550 a. C.	Color	7.5YR 8/3 PINK	Naturaleza	Estuco
-------------------	-----------------	--------------	-------------------	-------------------	--------

Observaciones
Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ORTOCLASA, MULLITA, YESO



Material Constructivo

Registros 123

Imagen

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

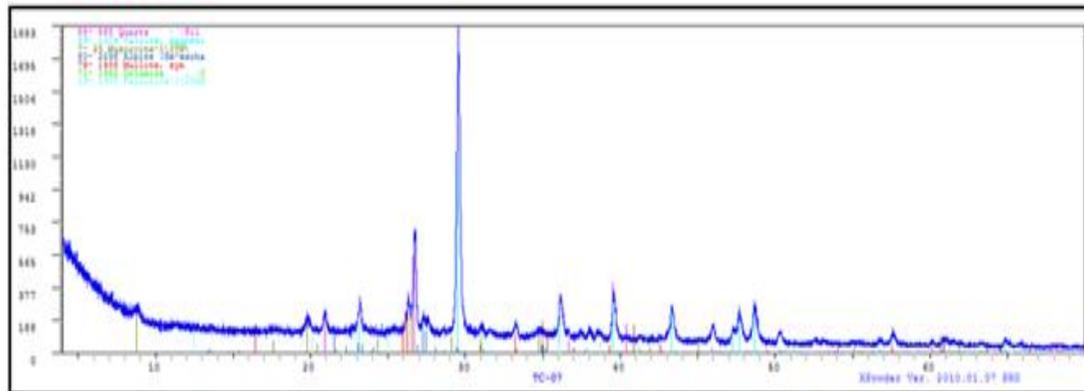
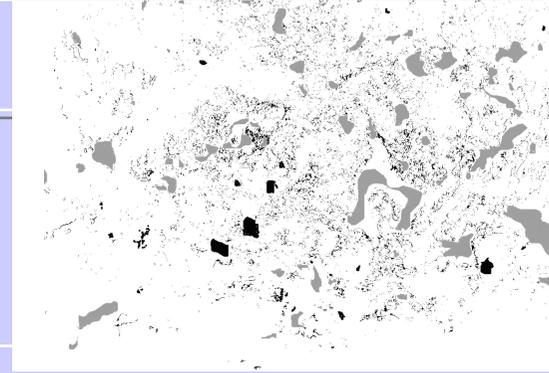
Buscar

Imprimir

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Turó del Calvari		
Siglado	TC-07	Nº Inventario	32	Localización	Indeterminada

Cronología	600 - 550 a. C.	Color	10YR 7/3 VERY PALE BROWN	Naturaleza	Estuco
-------------------	-----------------	--------------	-----------------------------	-------------------	--------

Observaciones Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, MULLITA, CAOLINITA



Material Constructivo

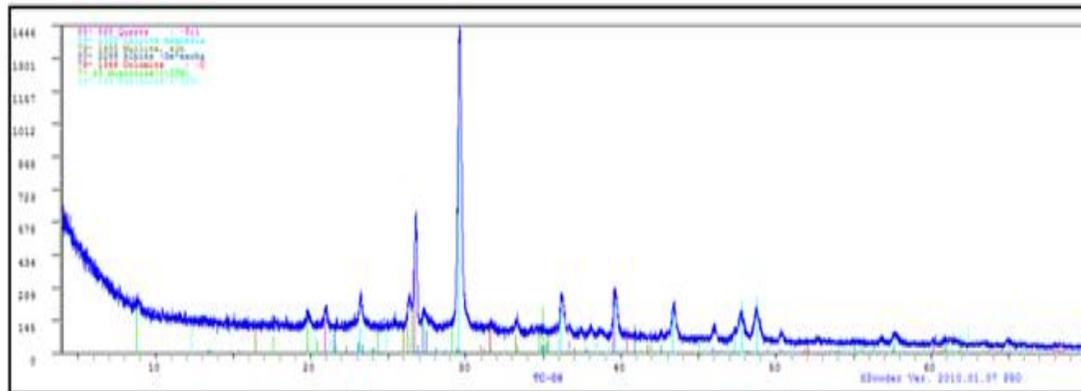
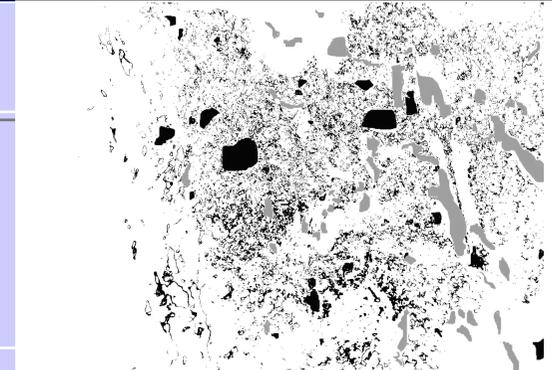
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Turó del Calvari		
Siglado	TC-08	Nº Inventario	33	Localización	Indeterminada

Cronología	600 - 550 a. C.	Color	7.5YR 8/3 PINK	Naturaleza	Revestimiento
-------------------	-----------------	--------------	-------------------	-------------------	---------------

Observaciones Fragmento de revestimiento extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ALBITA, DOLOMITA, MULLITA, CAOLINITA



Material Constructivo

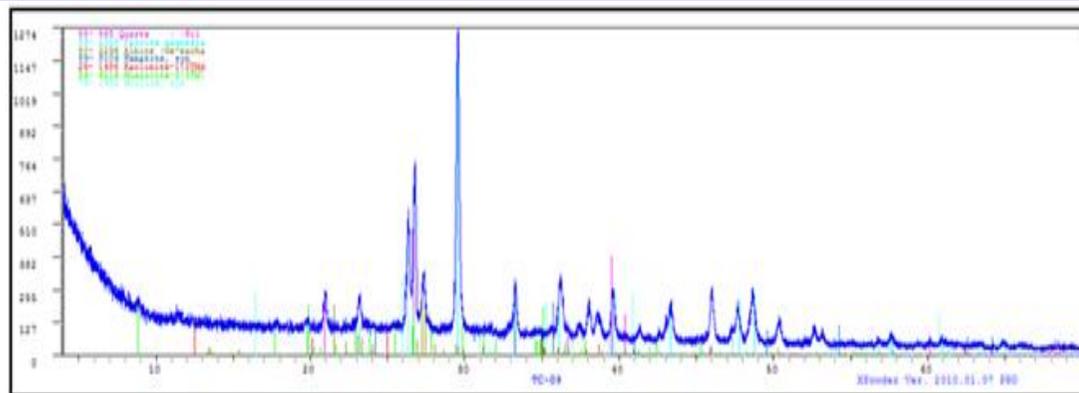
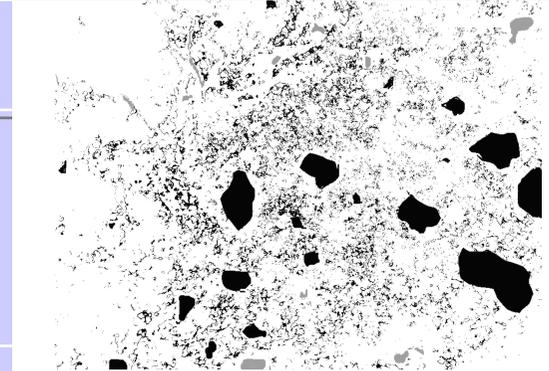
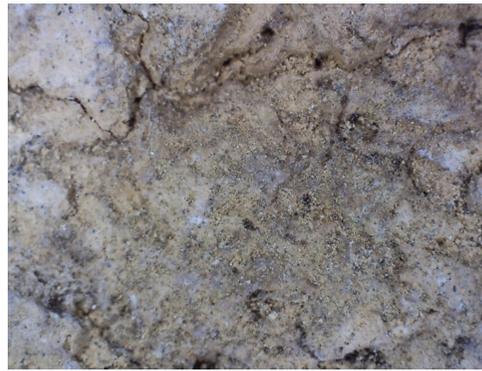
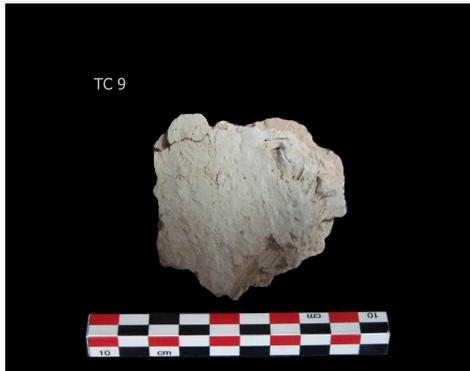
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Turó del Calvari		
Siglado	TC-09	Nº Inventario	34	Localización	Indeterminada

Cronología	600 - 550 a. C.	Color	7.5YR 8/3 PINK	Naturaleza	Estuco
-------------------	-----------------	--------------	-------------------	-------------------	--------

Observaciones Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ALBITA, MULLITA, CAOLINITA, HEMATITA



Material Constructivo

Registros 123

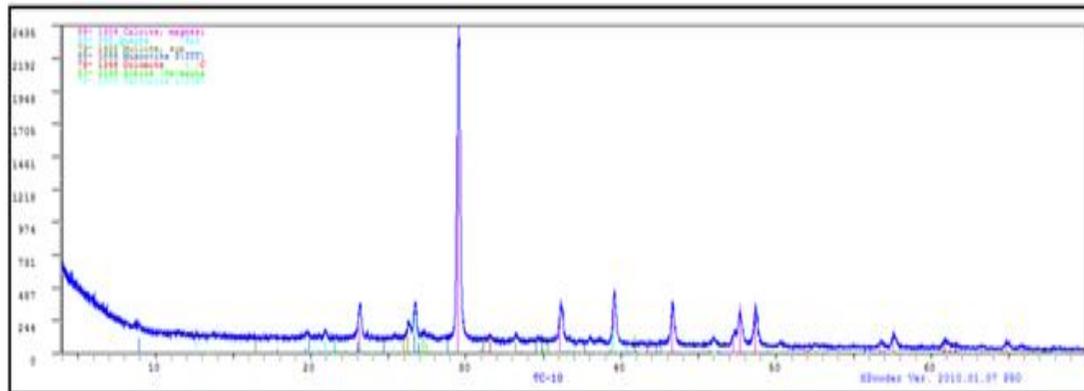
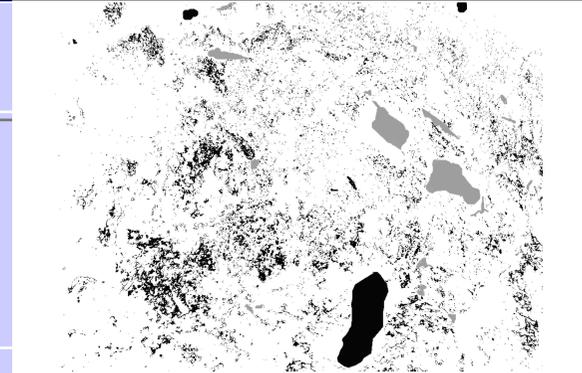
Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Turó del Calvari		
Siglado	TC-10	Nº Inventario	35	Localización	Indeterminada

Cronología	600 - 550 a. C.	Color	7.5YR 8/3 PINK	Naturaleza	Revestimiento
-------------------	-----------------	--------------	-------------------	-------------------	---------------

Observaciones

Fragmento de revestimiento extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ALBITA, DOLOMITA, MULLITA, CAOLINITA



Material Constructivo

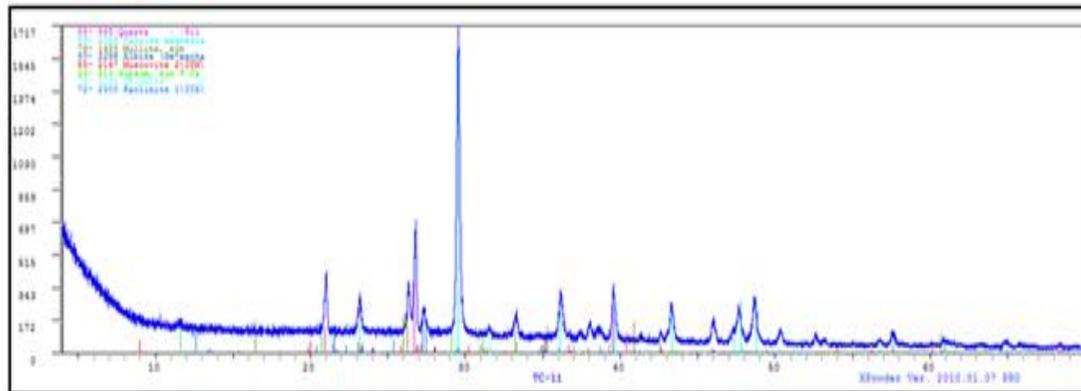
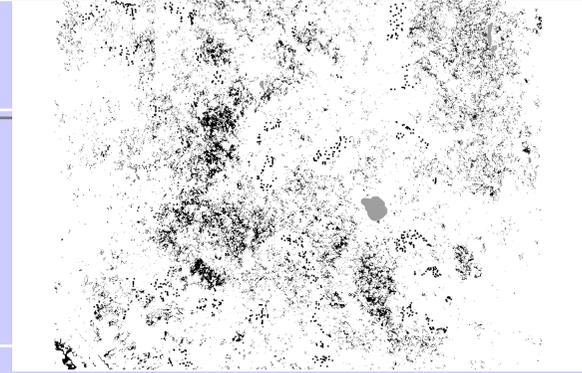
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Turó del Calvari		
Siglado	TC-11	Nº Inventario	36	Localización	Indeterminada

Cronología	600 - 550 a. C.	Color	10YR 8/3 VERY PALE BROWN	Naturaleza	Estuco
-------------------	-----------------	--------------	-----------------------------	-------------------	--------

Observaciones Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, MULLITA, CAOLINITA, YESO



Material Constructivo

Registros 123

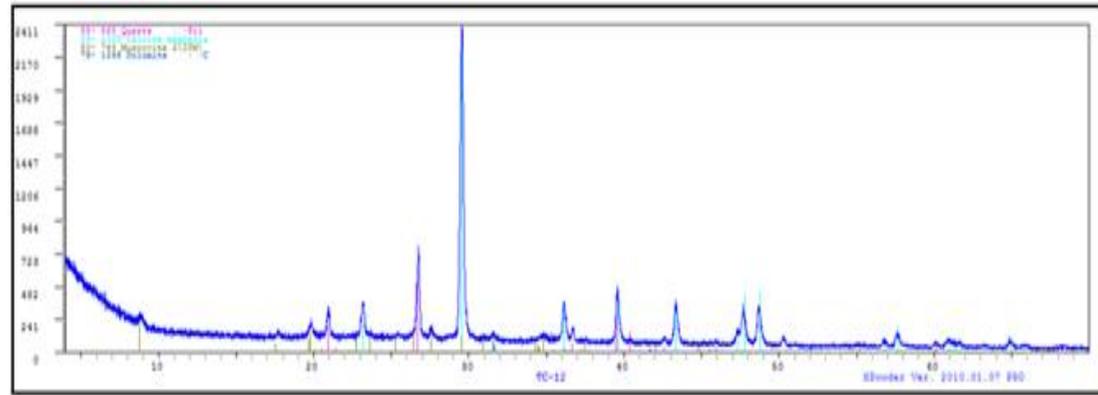
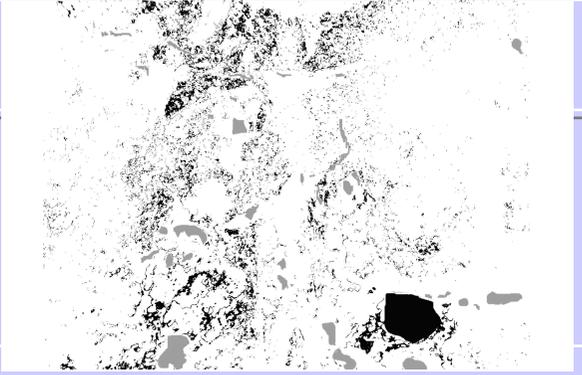
Imagen
◀ ▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Turó del Calvari		
Siglado	TC-12	Nº Inventario	37	Localización	Indeterminada

Cronología	600 - 550 a. C.	Color	7.5YR 7/3 PINK	Naturaleza	Estuco
-------------------	-----------------	--------------	-------------------	-------------------	--------

Observaciones

**Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA**



Material Constructivo

Registros 123

Imagen

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

Buscar

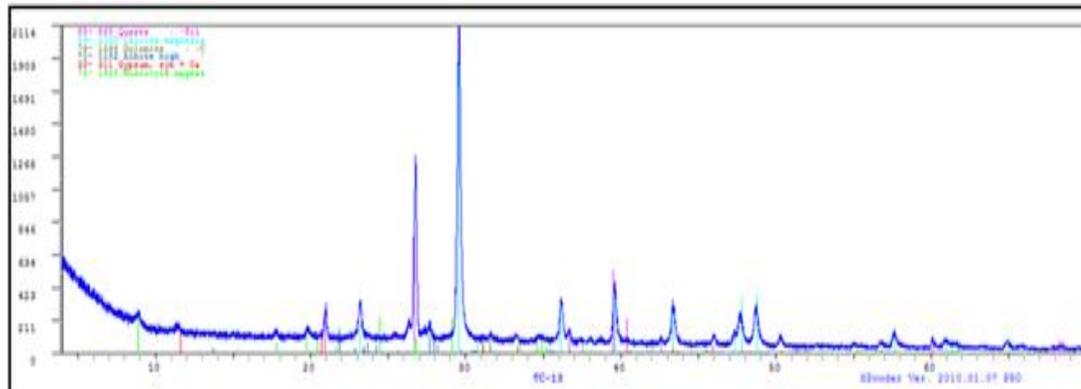
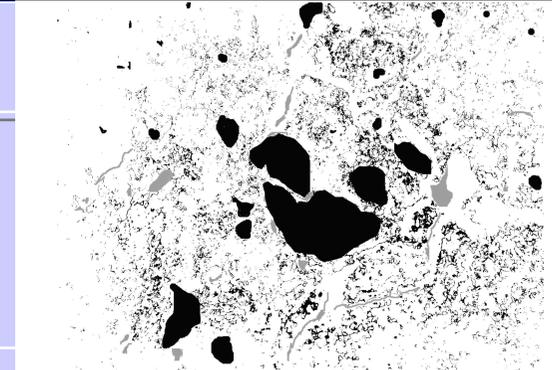
Imprimir

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Turó del Calvari		
Siglado	TC-13	Nº Inventario	38	Localización	Indeterminada

Cronología	600 - 550 a. C.	Color	7.5YR 7/3 PINK	Naturaleza	Estuco
-------------------	-----------------	--------------	-------------------	-------------------	--------

Observaciones

Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, YESO



Material Constructivo

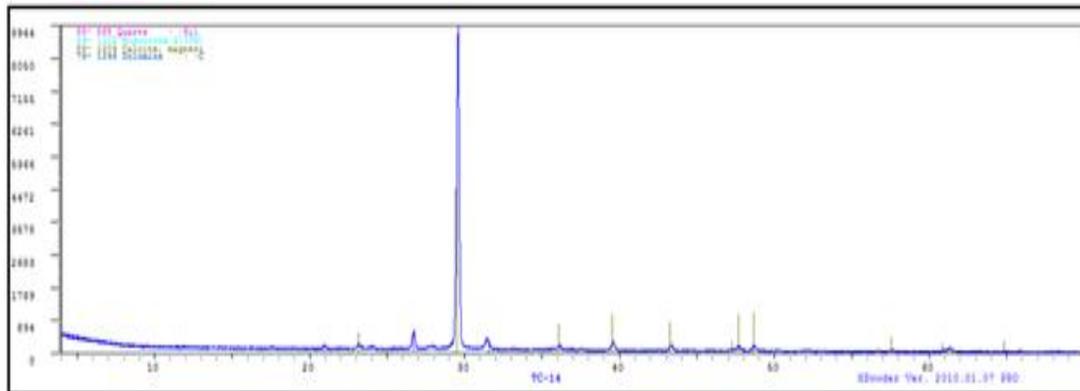
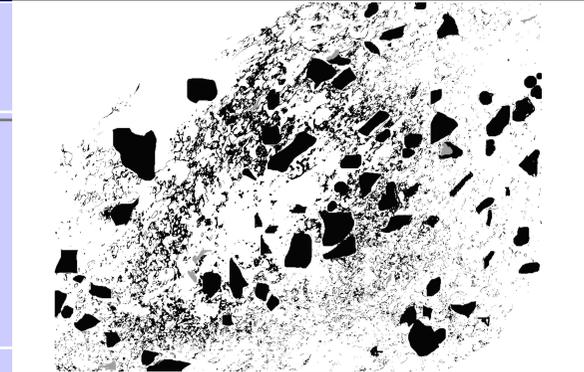
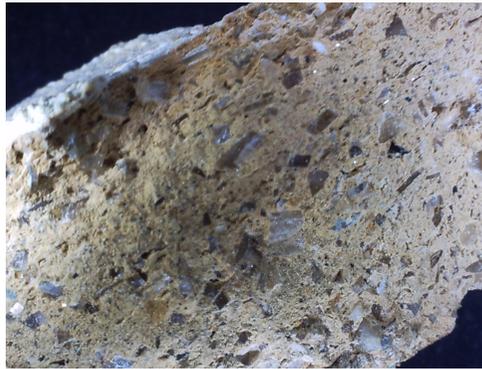
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Turó del Calvari		
Siglado	TC-14	Nº Inventario	39	Localización	Indeterminada

Cronología	600 - 550 a. C.	Color	5YR 7/4 PINK	Naturaleza	Revestimiento
-------------------	-----------------	--------------	-----------------	-------------------	---------------

Observaciones Fragmento de revestimiento extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA



Material Constructivo

Registros 123

Imagen

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

Buscar

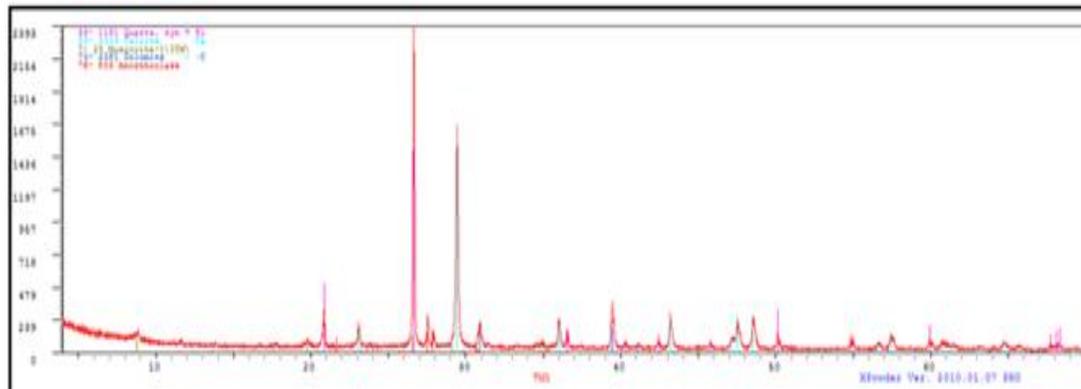
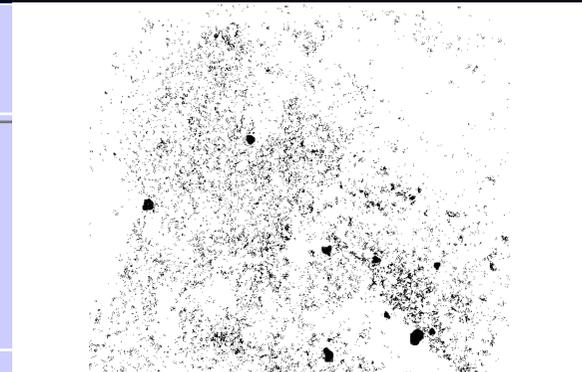
Imprimir

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Tossal del Moro		
Siglado	TM-01	Nº Inventario	40	Localización	Indeterminada

Cronología	s. IV a. C.	Color	7.5YR 7/3 PINK	Naturaleza	Argamasa/Muralla
-------------------	-------------	--------------	-------------------	-------------------	------------------

Observaciones

Fragmento extraído de pieza de dimensiones 24x16x9,5 cm
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ANORTOCLASA



Material Constructivo

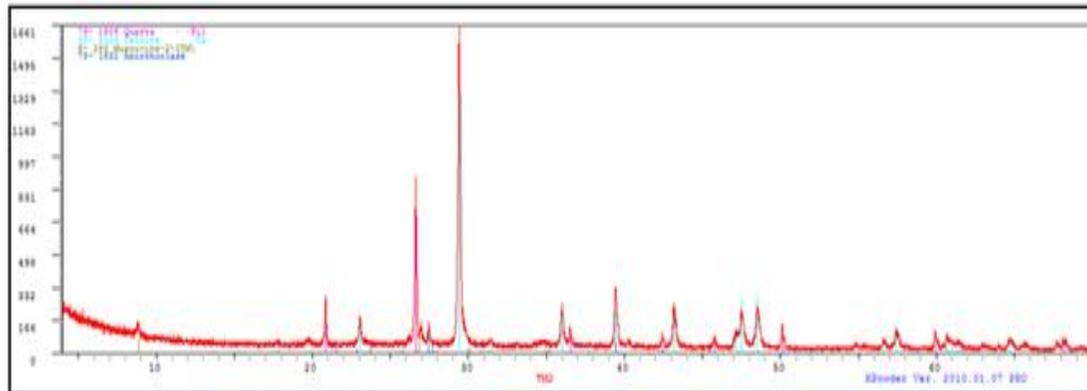
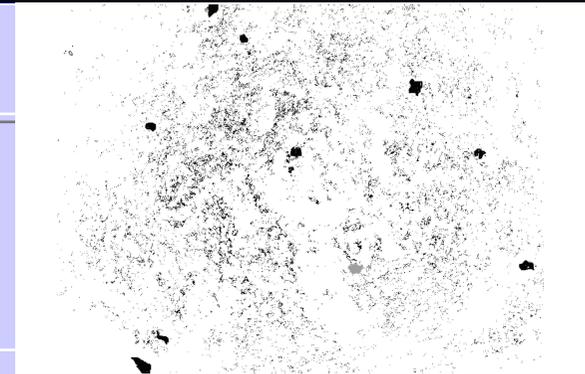
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Tossal del Moro		
Siglado	TM-02	Nº Inventario	41	Localización	Indeterminada

Cronología	s. IV a. C.	Color	7.5YR 7/3 PINK	Naturaleza	Adobe
-------------------	-------------	--------------	-------------------	-------------------	-------

Observaciones Fragmento extraído de pieza de dimensión 12x12x10 cm. Adobe – parte superior con digitales en sentido longitudinal.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ANORTOCLASA



Material Constructivo

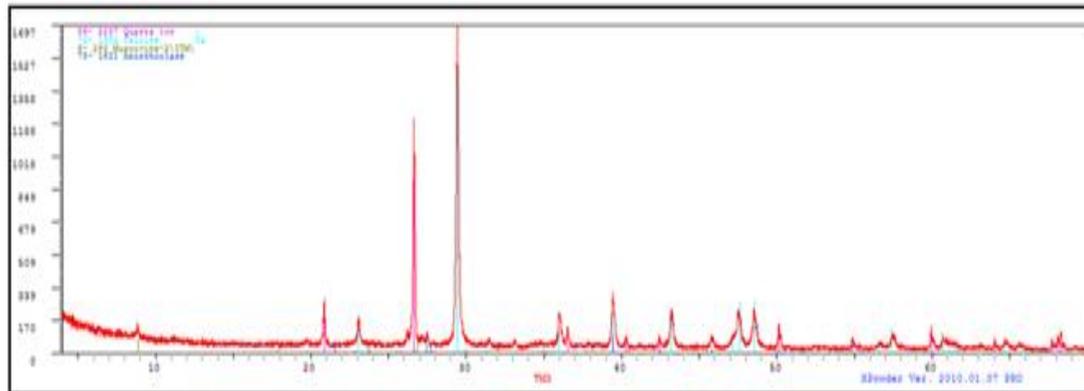
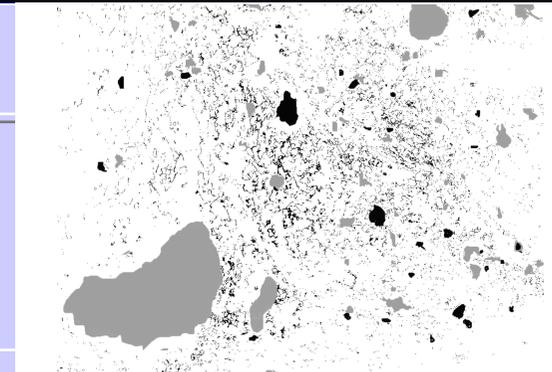
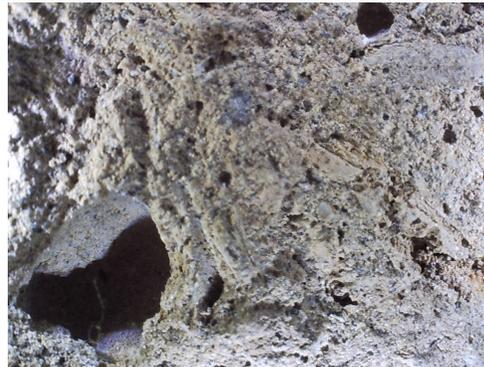
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Tossal del Moro		
Siglado	TM-03	Nº Inventario	42	Localización	Indeterminada

Cronología	s. IV a. C.	Color	10YR 7/2 LIGHT GRAY	Naturaleza	Adobe
-------------------	-------------	--------------	------------------------	-------------------	-------

Observaciones Fragmento extraído de pieza de dimensión 19x11x11 cm. Adobe – parte superior con digitales en sentido longitudinal.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ANORTOCLASA



Material Constructivo

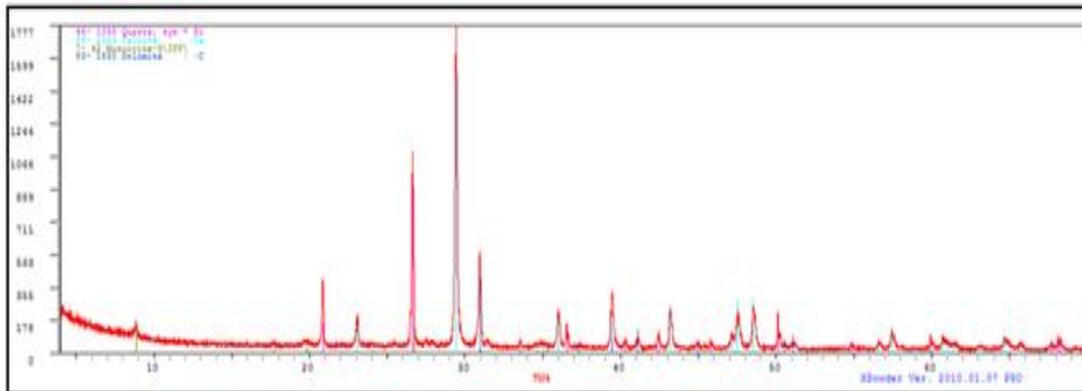
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Tossal del Moro		
Siglado	TM-04	Nº Inventario	43	Localización	Indeterminada

Cronología	s. IV a. C.	Color	7.5YR 7/3 PINK	Naturaleza	Adobe
-------------------	-------------	--------------	-------------------	-------------------	-------

Observaciones Fragmento extraído de pieza de dimensión 16x14x11,5 cm. Adobe – parte superior con digitales en cruz.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA



Material Constructivo

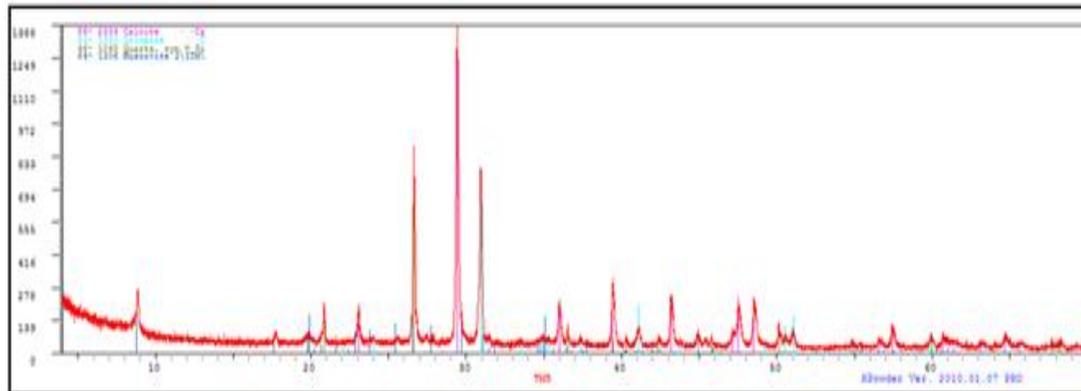
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Tossal del Moro		
Siglado	TM-05	Nº Inventario	44	Localización	Indeterminada

Cronología	s. IV a. C.	Color	7.5YR 7/3 PINK	Naturaleza	Revestimiento
-------------------	-------------	--------------	-------------------	-------------------	---------------

Observaciones Fragmento extraído de pieza de dimensión 16x14x11,5 cm. Revestimiento de la capa superior.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA



Material Constructivo

Registros 123

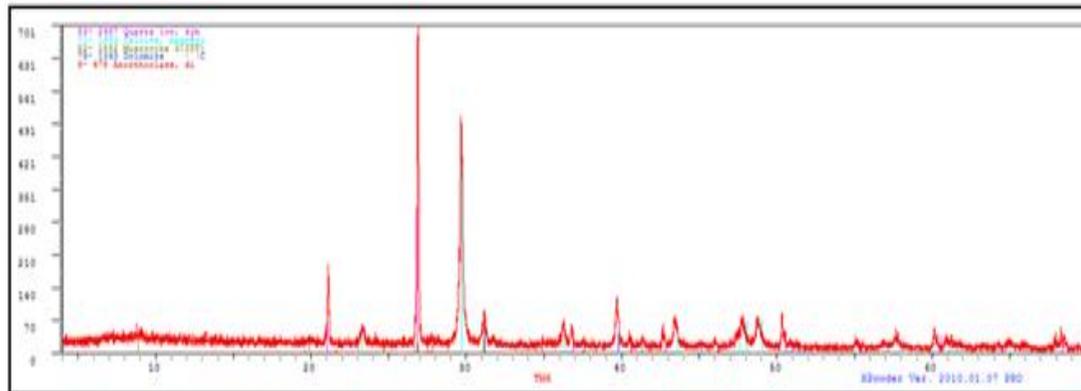
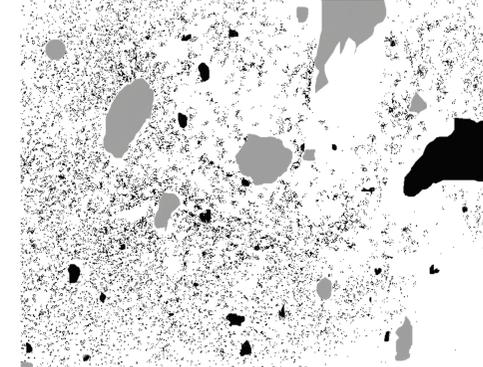
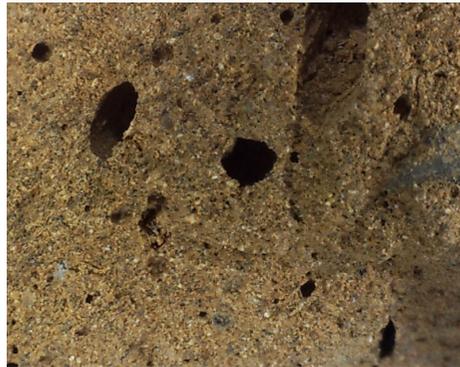
Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Tossal del Moro		
Siglado	TM-06	Nº Inventario	45	Localización	Indeterminada

Cronología	s. IV a. C.	Color	5YR 7/3 PINK	Naturaleza	Adobe
-------------------	-------------	--------------	-----------------	-------------------	-------

Observaciones

Fragmento extraído de pieza de dimensión 14x 20x13 cm. Adobe – parte superior con digitales en cruz.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ANORTOCLASA



Material Constructivo

Registros 123

Imagen

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

Buscar

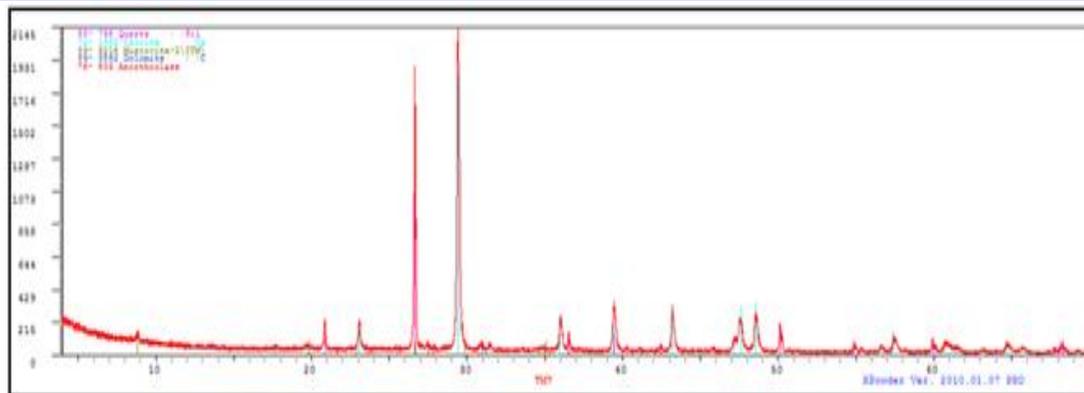
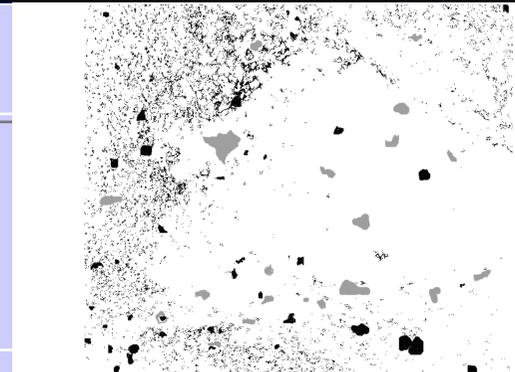
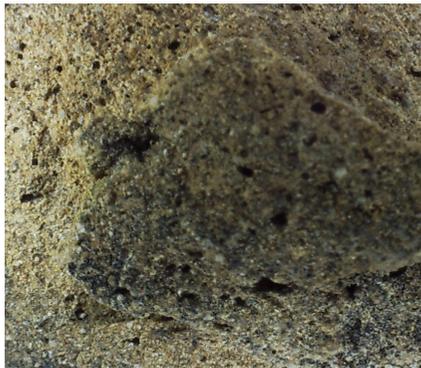
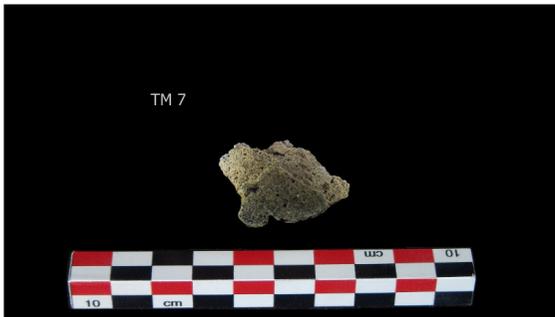
Imprimir

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Tossal del Moro		
Siglado	TM-07	Nº Inventario	46	Localización	Indeterminada

Cronología	s. IV a. C.	Color	7.5YR 7/2 PINKISH GRAY	Naturaleza	Adobe
-------------------	-------------	--------------	---------------------------	-------------------	-------

Observaciones

Fragmento extraído de pieza de dimensión 14x 20x13 cm. Adobe – parte superior con digitales en cruz.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ANORTOCLASA



Material Constructivo

Registros 123

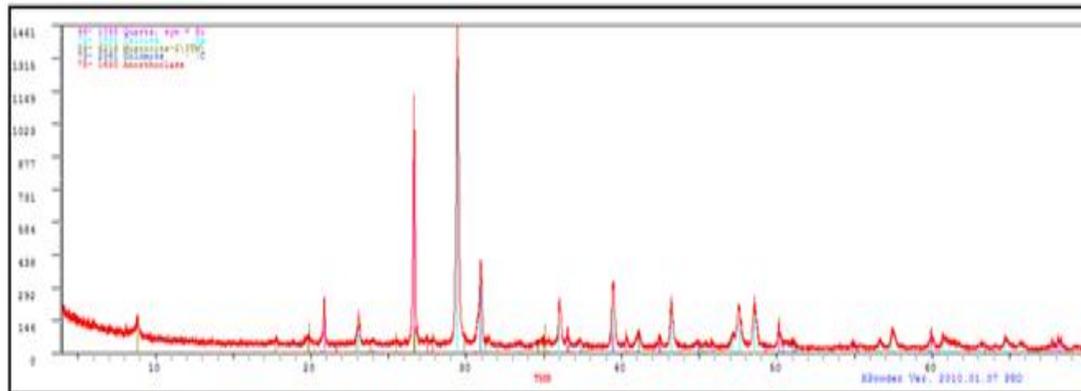
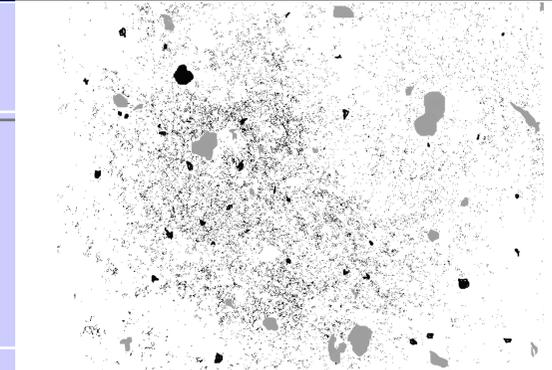
Imagen
◀▶◀▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Tossal del Moro		
Siglado	TM-08	Nº Inventario	47	Localización	Indeterminada

Cronología	s. IV a. C.	Color	7.5YR 7/3 PINK	Naturaleza	Adobe
-------------------	-------------	--------------	-------------------	-------------------	-------

Observaciones

**Fragmento extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ANORTOCLASA**



Material Constructivo

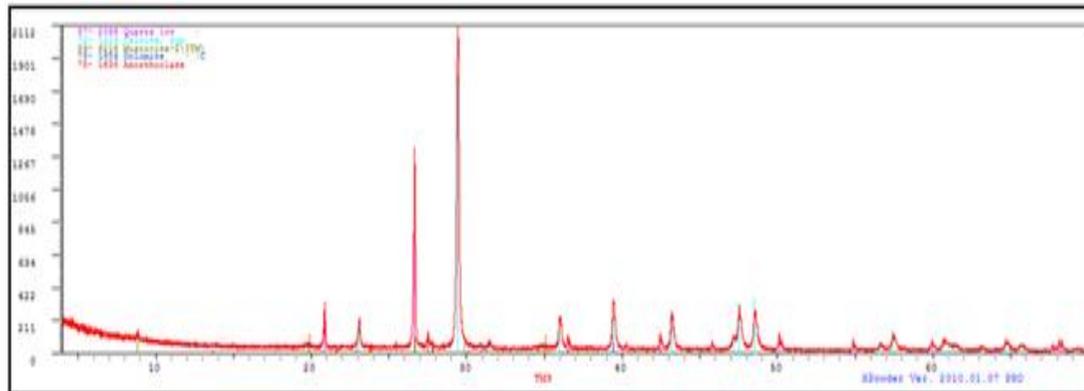
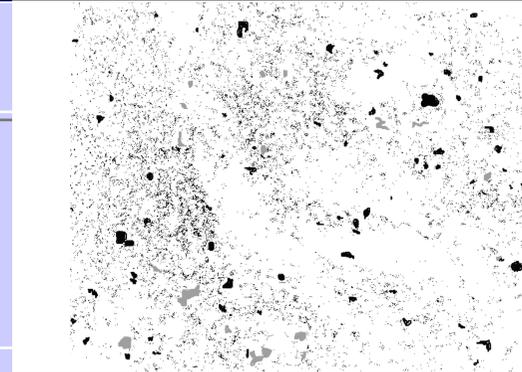
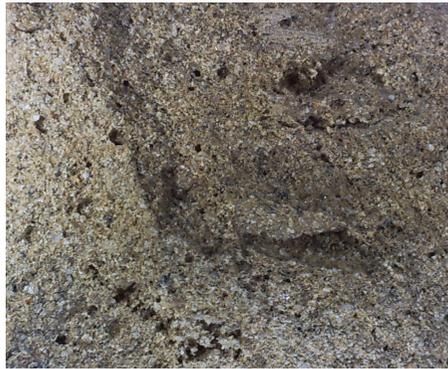
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Tossal del Moro		
Siglado	TM-09	Nº Inventario	48	Localización	Indeterminada

Cronología	s. IV a. C.	Color	7.5YR 7/2 PINKISH GRAY	Naturaleza	Revestimiento
-------------------	-------------	--------------	---------------------------	-------------------	---------------

Observaciones
Fragmento extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ANORTOCLASA



Material Constructivo

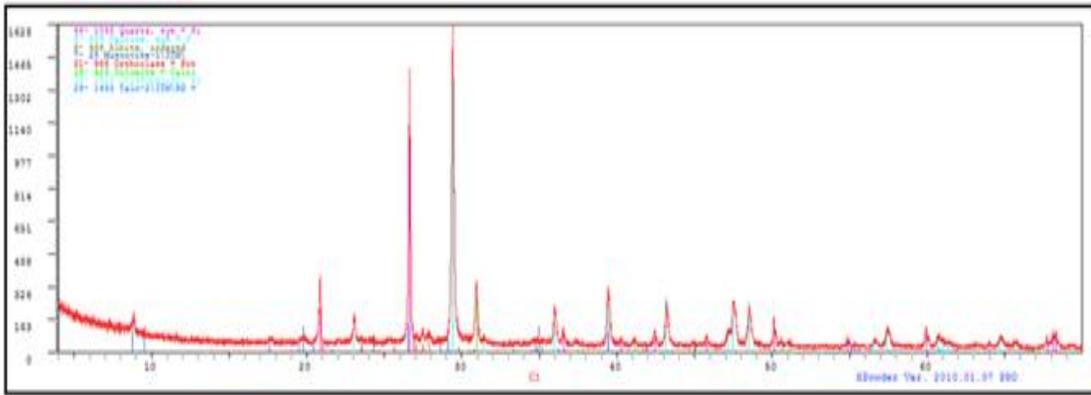
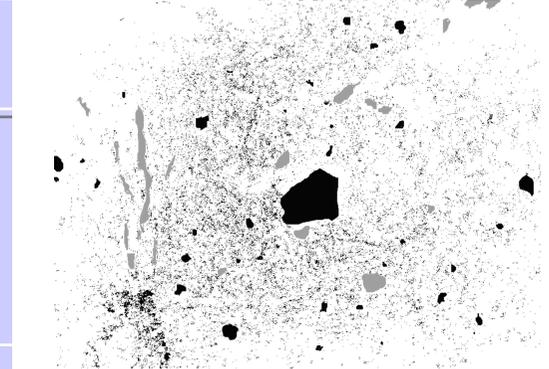
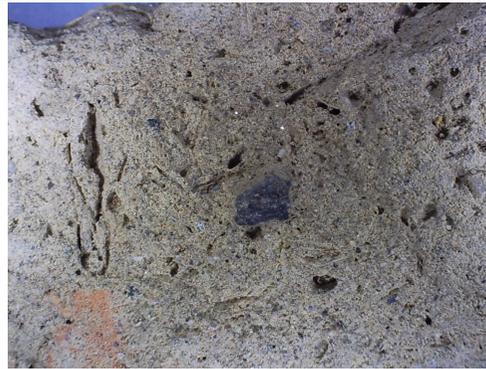
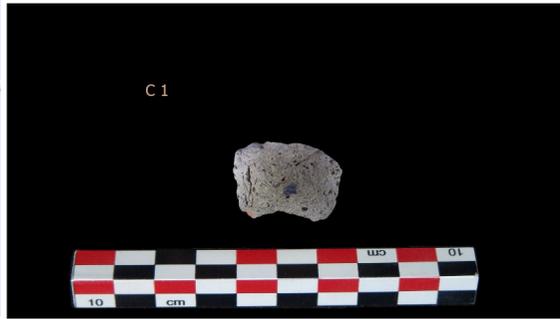
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Castellons de Flix		
Siglado	C-01	Nº Inventario	49	Localización	Indeterminada

Cronología	s. IX / I a. C.	Color	10YR 7/2 LIGTH GRAY	Naturaleza	Adobe
-------------------	-----------------	--------------	------------------------	-------------------	-------

Observaciones
Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, ORTOCLASA,
CRISTOBALITA, TALCO
Excavación de 2005



Material Constructivo

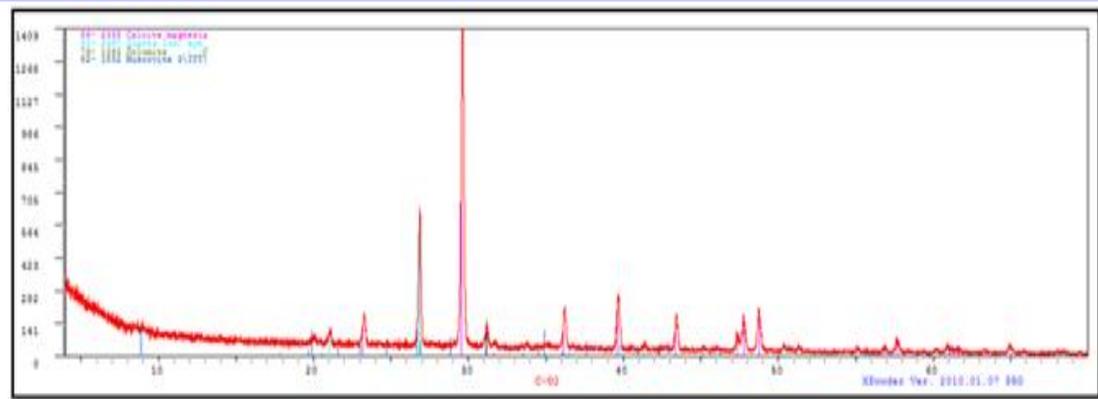
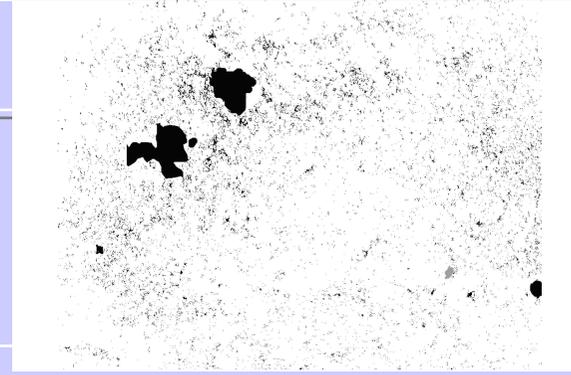
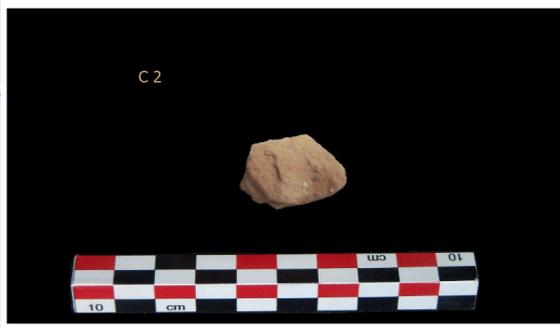
Registros 123

Imagen

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Castellons de Flix		
Siglado	C-02	Nº Inventario	50	Localización	Indeterminada

Cronología	s. IX / I a. C.	Color	5YR 7/4 PINK	Naturaleza	Adobe
-------------------	-----------------	--------------	-----------------	-------------------	-------

Observaciones Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión indeterminada. Muestra 1.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA
Excavación de 2005



Material Constructivo

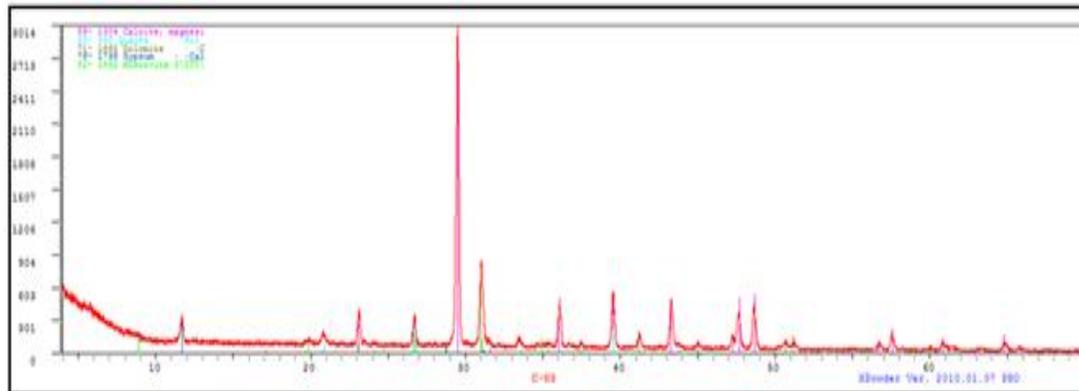
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Castellons de Flix		
Siglado	C-03	Nº Inventario	51	Localización	Indeterminada

Cronología	s. IX / I a. C.	Color	10YR 8/3 VERY PALE BROWN	Naturaleza	Adobe
-------------------	-----------------	--------------	-----------------------------	-------------------	-------

Observaciones Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión indeterminada. Muestra 2.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, YESO
Excavación de 2005



Material Constructivo

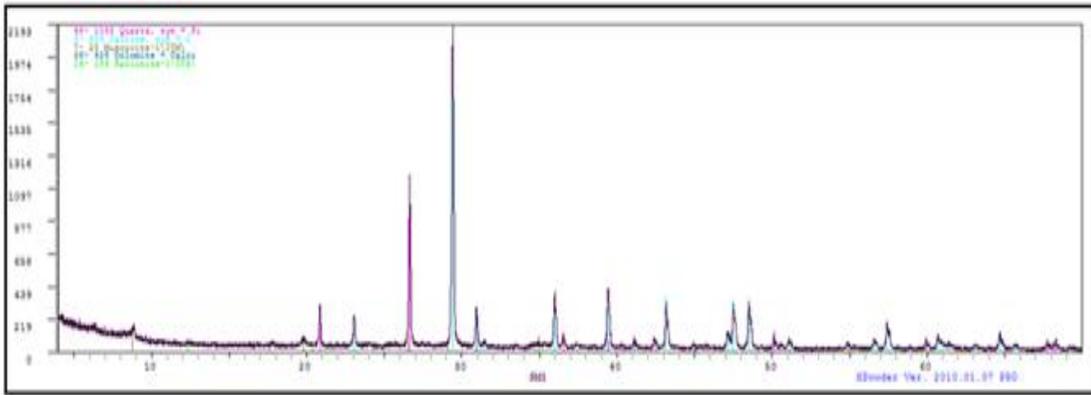
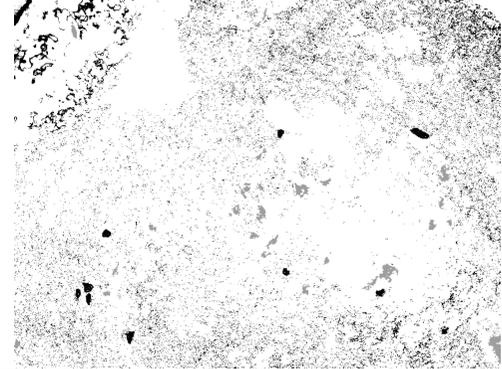
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Sant Miquel de Vinebre		
Siglado	SM-01	Nº Inventario	52	Localización	Sondeo Y-W/nivel 3

Cronología	s. II / I a. C.	Color	7.5YR 5/1 GRAY	Naturaleza	Adobe
-------------------	-----------------	--------------	-------------------	-------------------	-------

Observaciones Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión indeterminada. Fragmento de muralla.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, CAOLINITA
Excavación de 1980



Material Constructivo

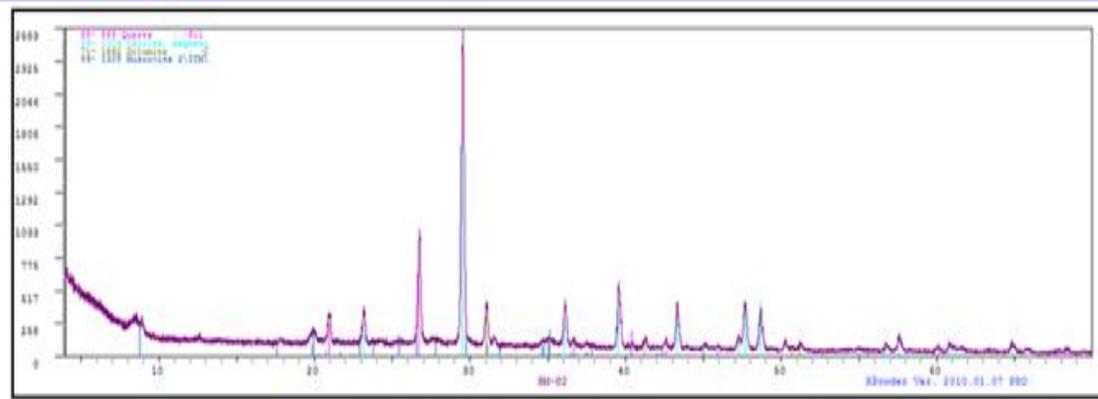
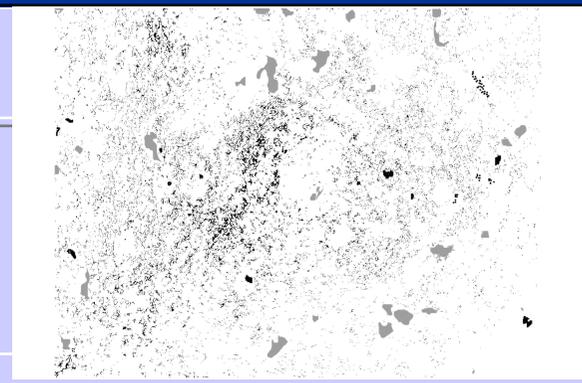
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Sant Miquel de Vinebre		
Siglado	SM-02	Nº Inventario	53	Localización	Sondeo y-W/Nivel 3

Cronología	s. II / I a. C.	Color	7.5YR 6/3 LIGTH BROWN	Naturaleza	Adobe
-------------------	-----------------	--------------	--------------------------	-------------------	-------

Observaciones Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión indeterminada. Fragmento de muralla. Muestra 1.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA
Excavación de 1980



Material Constructivo

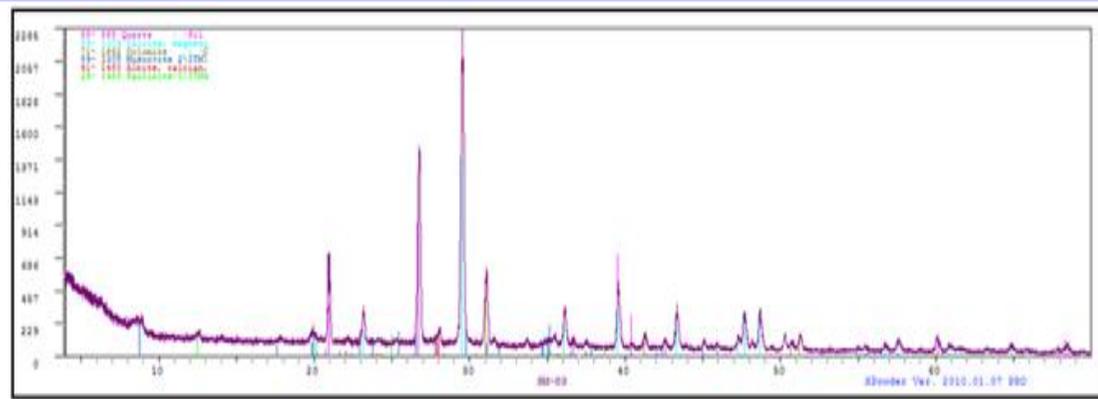
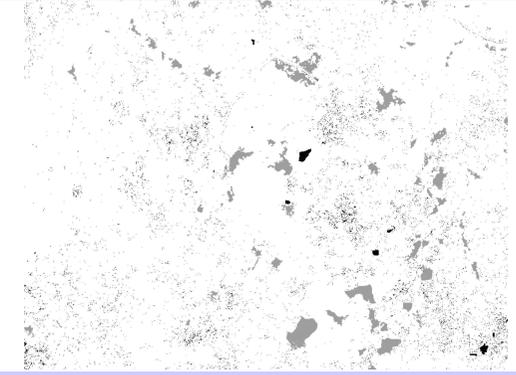
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶

Procedencia **Nordeste** **Yacimiento** **Sant Miquel de Vinebre**
Siglado **SM-03** **Nº Inventario** **54** **Localización** **Sondeo Y-W/ Nivel 3**

Cronología **s. II / I a. C.** **Color** **7.5YR 6/3
LIGTH BROWN** **Naturaleza** **Adobe**

Observaciones **Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión indeterminada. Fragmento de muralla. Muestra 2.**
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, CAOLINITA
Excavación de 1980



Material Constructivo

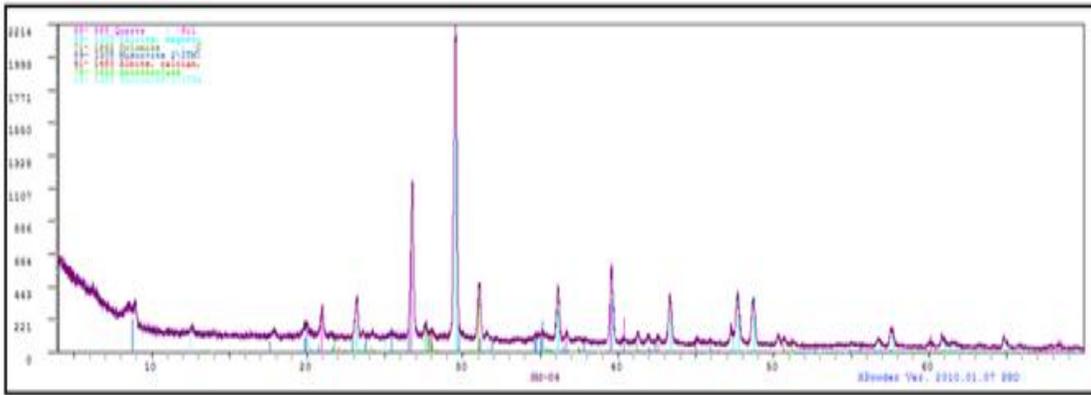
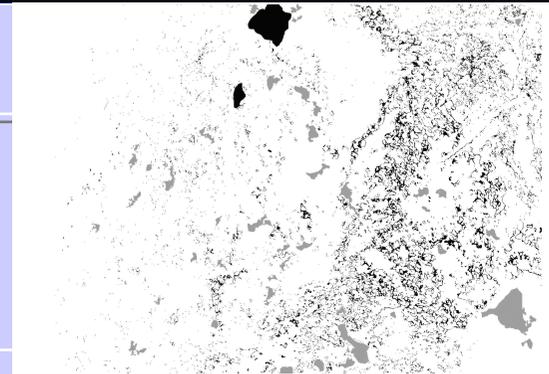
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Sant Miguel de Vinebre		
Siglado	SM-04	Nº Inventario	55	Localización	Sondeo Y-W/Nivel 3

Cronología	s. II / I a. C.	Color	5YR 6/4 LIGHT REDDISH	Naturaleza	Adobe
-------------------	-----------------	--------------	--------------------------	-------------------	-------

Observaciones Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión indeterminada. Fragmento de muralla. Muestra 3.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, CAOLINITA, ANORTOCLASA
- Excavación de 1980



Material Constructivo

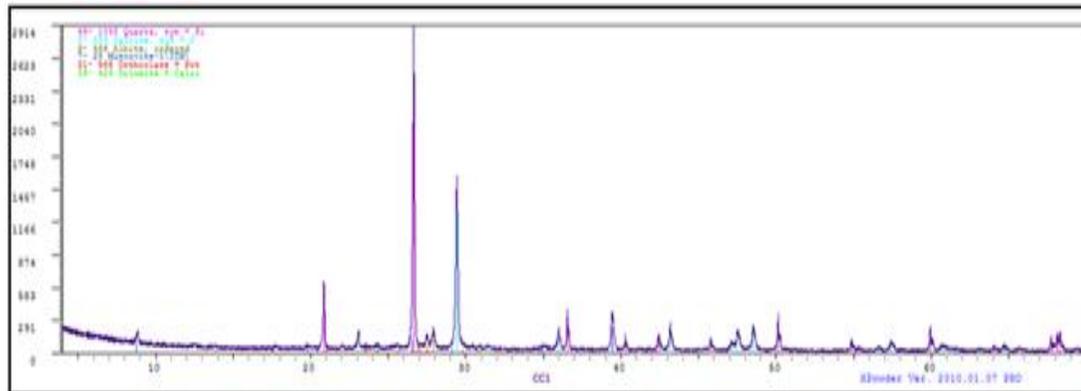
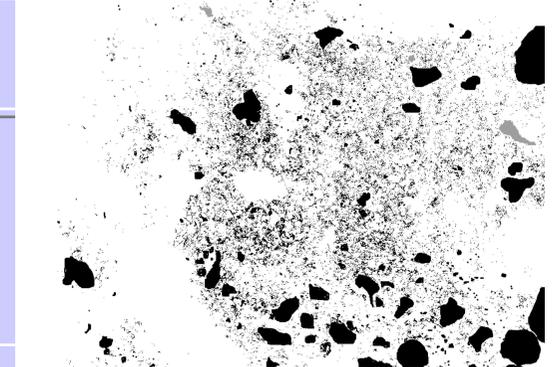
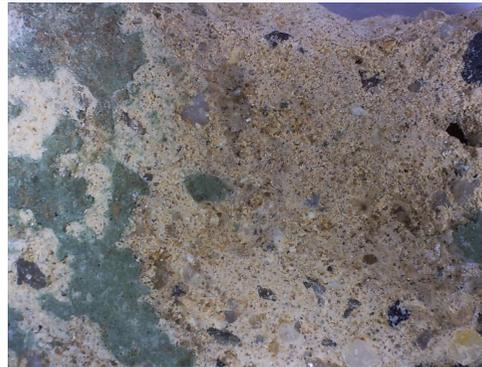
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Costa Capellans		
Siglado	CC-01	Nº Inventario	56	Localización	B2-C2/nivel 2

Cronología	s. I a. C./ I d. C.	Color	10YR 8/2 VERY PALE BROWN	Naturaleza	Estuco
-------------------	---------------------	--------------	-----------------------------	-------------------	--------

Observaciones Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada. Estuco con base de preparación (color verde).
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, ORTOCLASA
Excavación de 1985



Material Constructivo

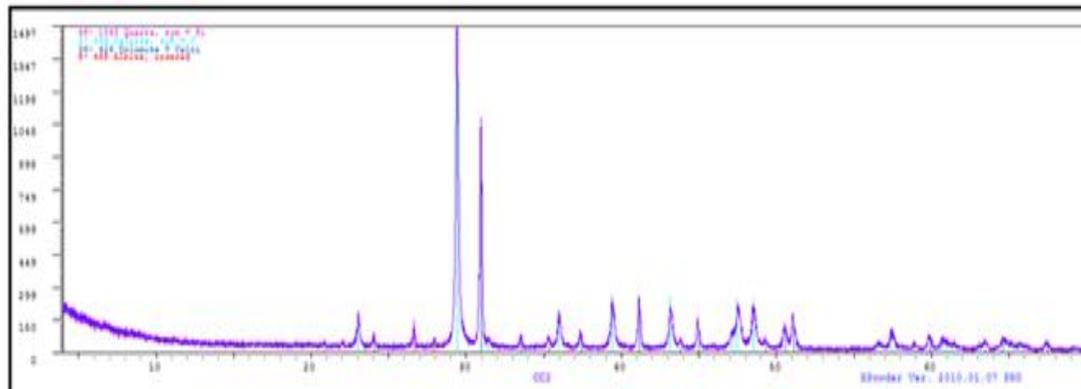
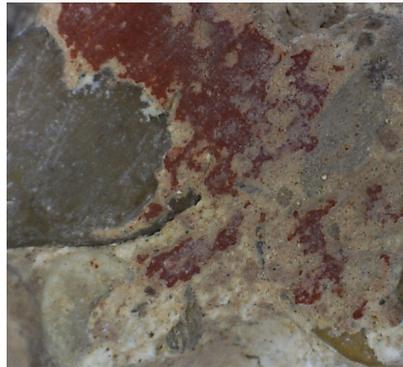
Registros 123

Imagen
◀ ▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Costa Capellans		
Siglado	CC-02	Nº Inventario	57	Localización	B2-C2/ Nivel 2

Cronología	s. I a. C./ I d. C.	Color	7.5YR 8/2 PINKISH WHITE	Naturaleza	Estuco
-------------------	---------------------	--------------	----------------------------	-------------------	--------

Observaciones Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada. Estuco con base de preparación (color rojo).
Minerales: CUARZO, CALCITA, DOLOMITA, ALBITA
Excavación de 1985



Material Constructivo

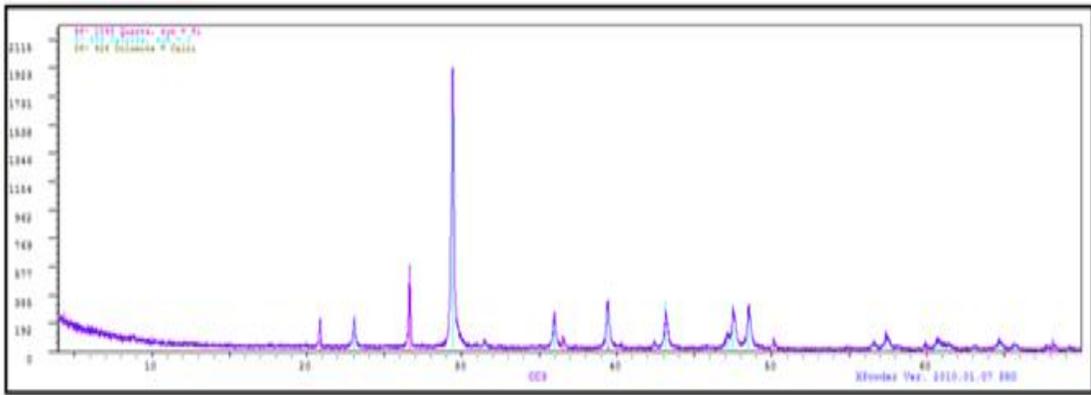
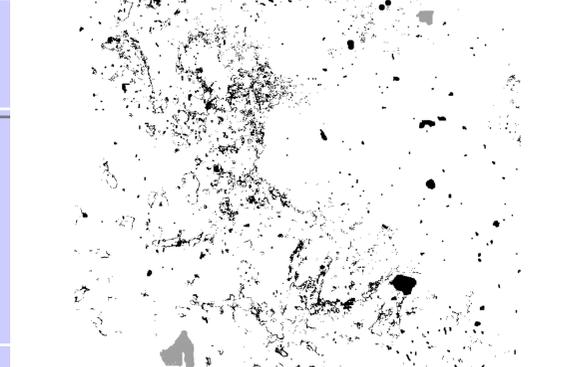
Registros 123

Imagen

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Costa Capellans		
Siglado	CC-03	Nº Inventario	58	Localización	B2-C2/nivel 2

Cronología	s. I a. C./ I d. C.	Color	7.5YR 8/2 PINKISH WHITE	Naturaleza	Estuco
-------------------	---------------------	--------------	----------------------------	-------------------	--------

Observaciones Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada. Estuco con base de preparación (color marrón).
Minerales: CUARZO, CALCITA, DOLOMITA
Excavación de 1985



Material Constructivo

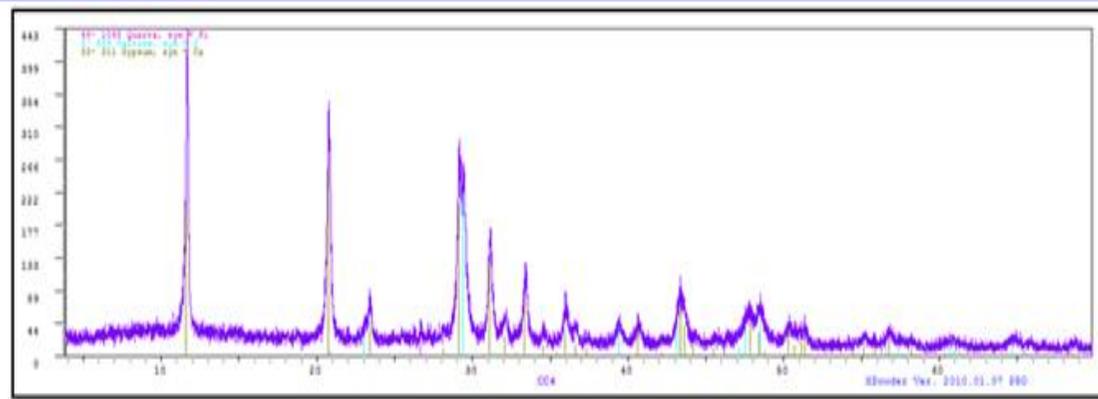
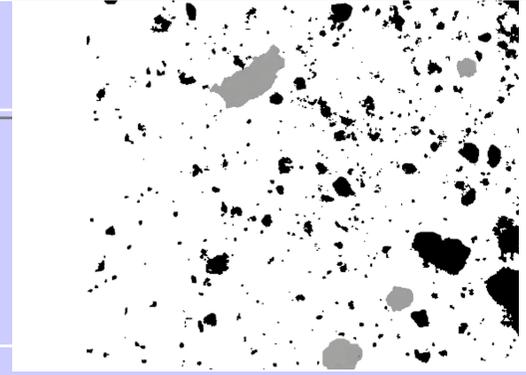
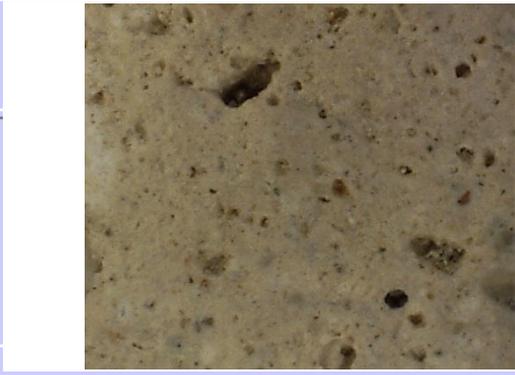
Registros 123

Imagen

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Costa Capellans		
Siglado	CC-04	Nº Inventario	59	Localización	B2-C2/Nivel 2

Cronología	s. I a. C./ I d. C.	Color	7.5YR 8/2 PINKISH WHITE	Naturaleza	Pared
-------------------	---------------------	--------------	----------------------------	-------------------	-------

Observaciones Fragmento de pared extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, YESO
Excavación de 1985



Material Constructivo

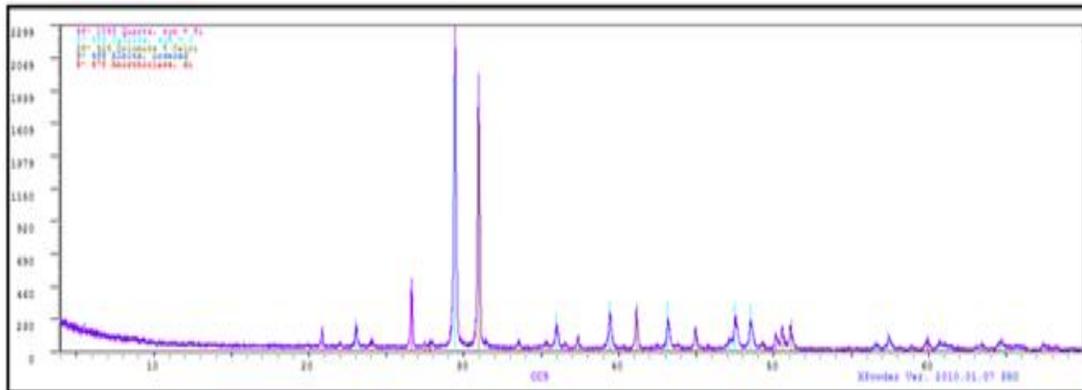
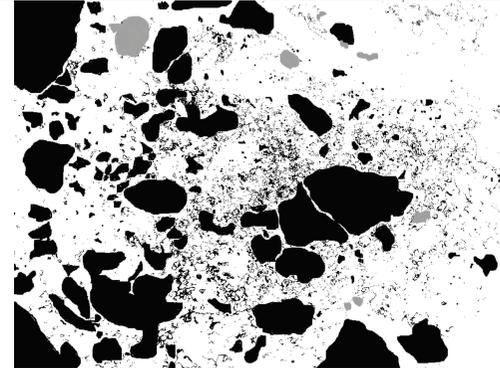
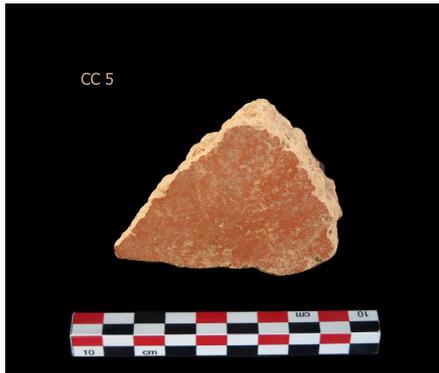
Registros 123

Imagen

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Costa Capellans		
Siglado	CC-05	Nº Inventario	60	Localización	A3-A4/Nivel 5

Cronología	s. I a. C./ I d. C.	Color	7.5YR 8/2 PINKISH WHITE	Naturaleza	Estuco
-------------------	---------------------	--------------	----------------------------	-------------------	--------

Observaciones Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada. Estuco con base de preparación y capa de pintura (color rojo).
Minerales: CUARZO, CALCITA, DOLOMITA, ALBITA, ANORTOCLASA
Excavación de 1985



Material Constructivo

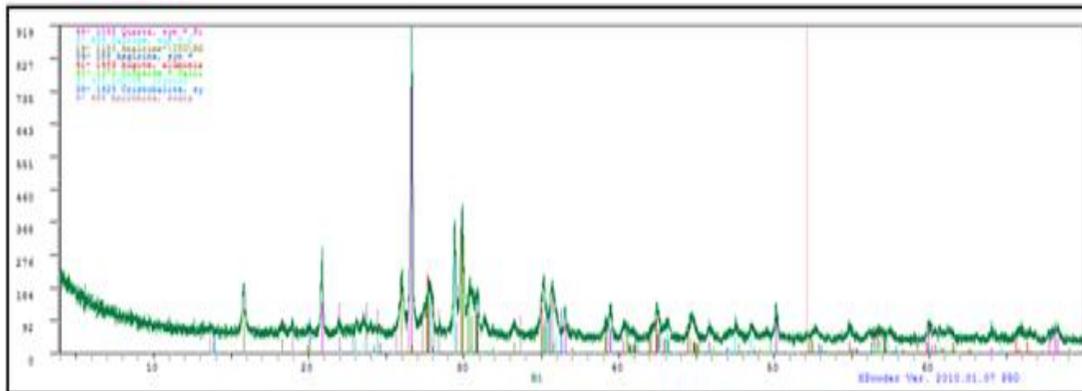
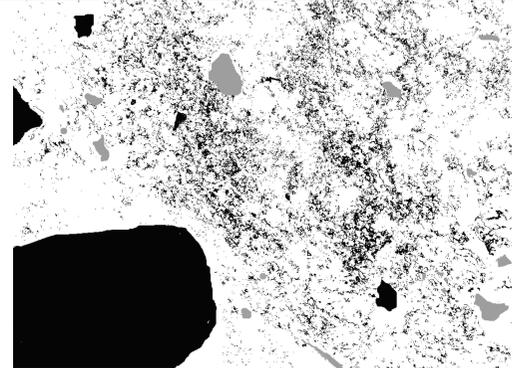
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Barrugat		
Siglado	B-01	Nº Inventario	61	Localización	Sondeo I

Cronología	s. I a. C. / VII d. C.	Color	5YR 7/2 PINKISH GRAY	Naturaleza	Adobe
-------------------	------------------------	--------------	-------------------------	-------------------	-------

Observaciones Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, ALBITA, ANALCIMA, AEGIRINA, AUGITA, DIÓPSIDO,
CRISTOBALITA, ANORTITA
Excavación de 1984



Material Constructivo

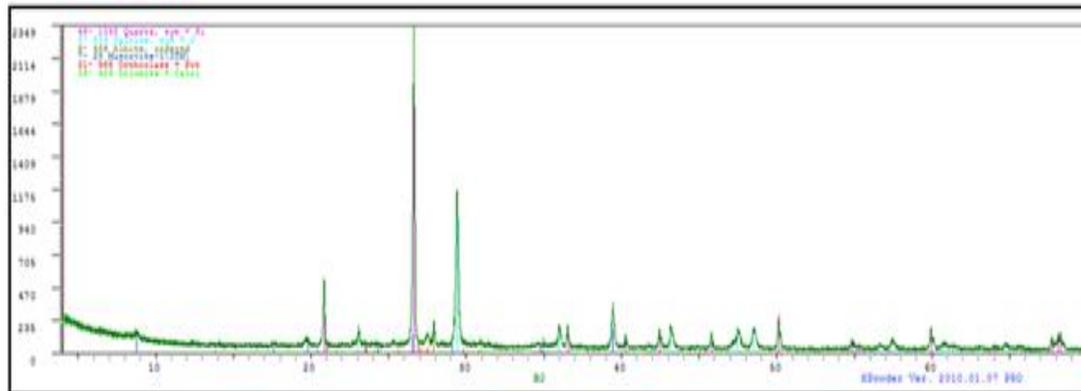
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Barrugat		
Siglado	B-02	Nº Inventario	62	Localización	Sondeo I

Cronología	s. I a. C. / VII d. C.	Color	7.5YR 7/3 PINK	Naturaleza	Adobe
-------------------	------------------------	--------------	-------------------	-------------------	-------

Observaciones Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, ALBITA, MOSCOVITA, ORTOCLASA, DOLOMITA
Excavación de 1984



Material Constructivo

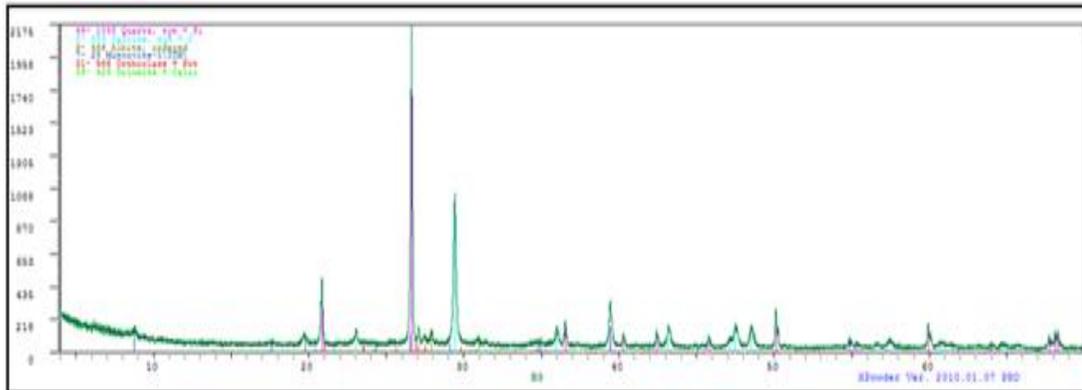
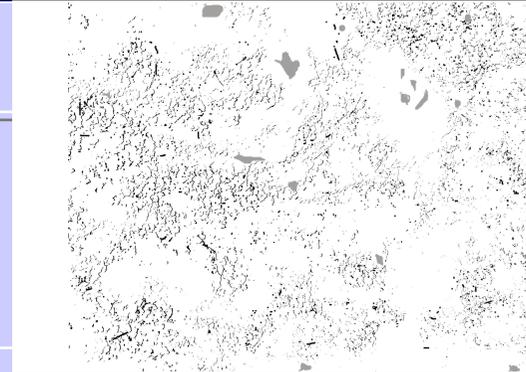
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Barrugat		
Siglado	B-03	Nº Inventario	63	Localización	Sondeo I

Cronología	s. I a. C. / VII d. C.	Color	7.5YR 7/3 PINK	Naturaleza	Adobe
-------------------	------------------------	--------------	-------------------	-------------------	-------

Observaciones Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión indeterminada. Adobe 2.
Minerales: CUARZO, CALCITA, ALBITA, MOSCOVITA, ORTOCLASA, DOLOMITA
Excavación de 1984



Material Constructivo

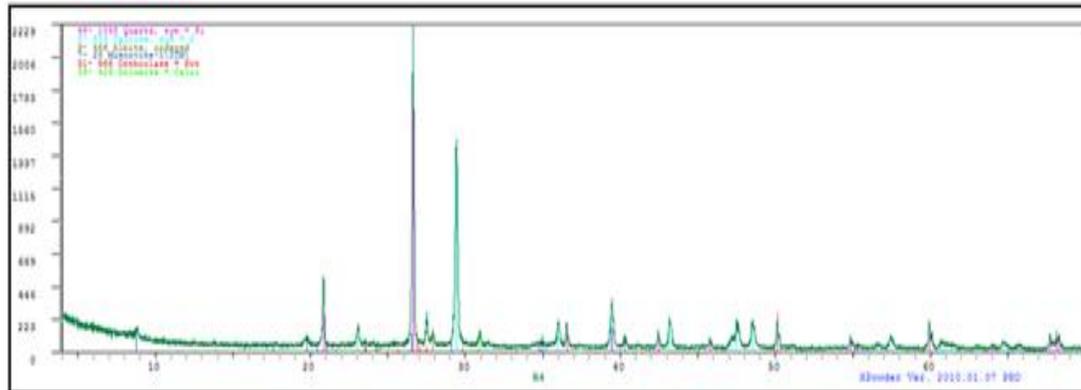
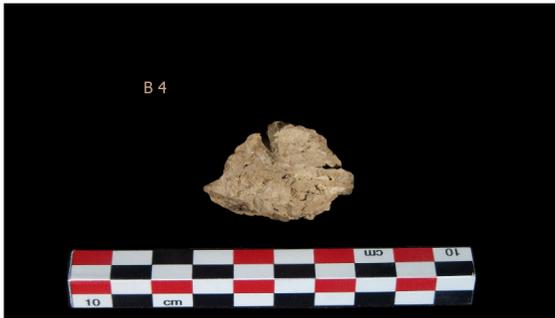
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Barrugat		
Siglado	B-04	Nº Inventario	64	Localización	Sondeo I

Cronología	s. I a. C. / VII d. C.	Color	10YR 7/2 LIGHT GRAY	Naturaleza	Adobe
-------------------	------------------------	--------------	------------------------	-------------------	-------

Observaciones Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión indeterminada. Adobe 3.
Minerales: CUARZO, CALCITA, ALBITA, MOSCOVITA, ORTOCLASA, DOLOMITA
Excavación de 1984



Material Constructivo

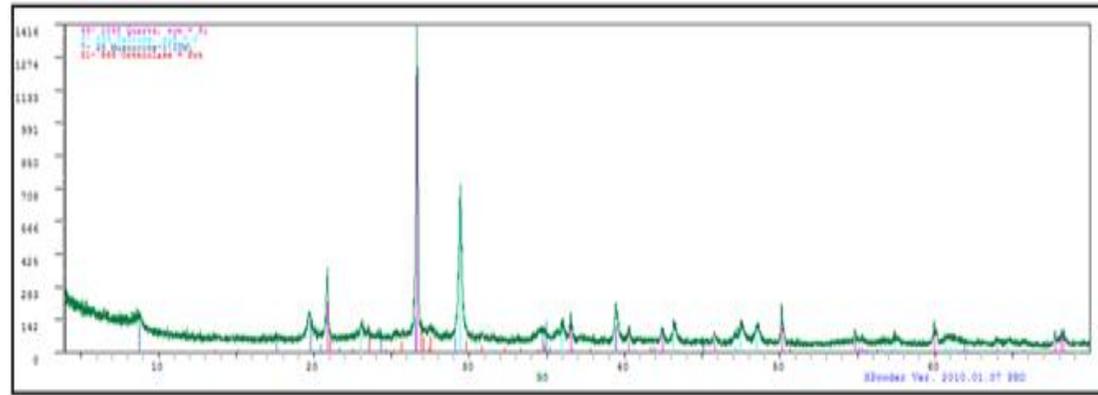
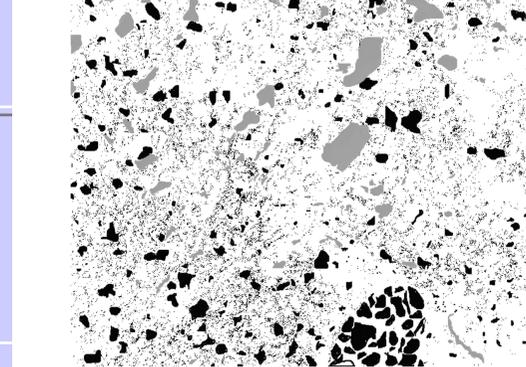
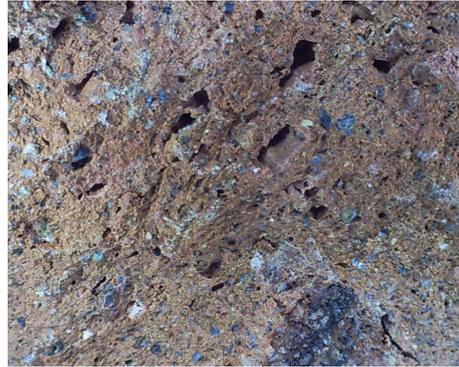
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Barrugat		
Siglado	B-05	Nº Inventario	65	Localización	Sondeo I

Cronología	s. I a. C. / VII d. C.	Color	2.5YR 6/6 LIGHT RED	Naturaleza	Adobe
-------------------	------------------------	--------------	------------------------	-------------------	-------

Observaciones Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión indeterminada. Adobe 1.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ORTOCLASA
Excavación de 1984



Material Constructivo

Registros 123

Imagen

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

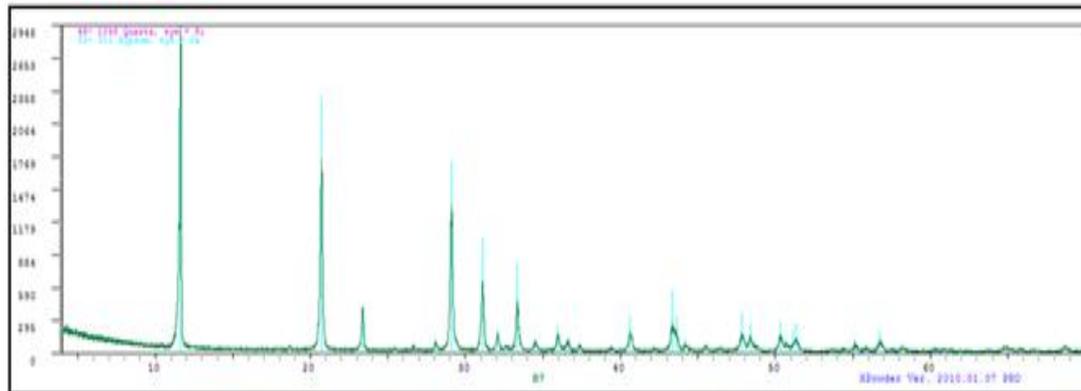
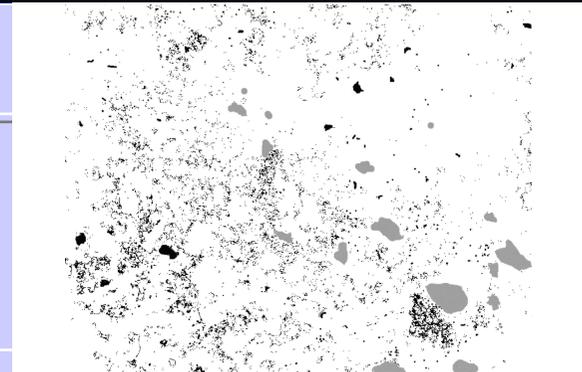
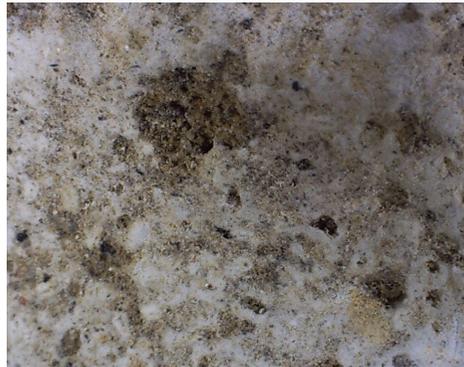
Buscar

Imprimir

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Barrugat		
Siglado	B-07	Nº Inventario	66	Localización	Sondeos T-T'

Cronología	s. I a. C. / VII d. C.	Color	7.5YR 8/1 WHITE	Naturaleza	Escañizado
-------------------	------------------------	--------------	--------------------	-------------------	------------

Observaciones Fragmento de escañizado extraído de pieza de dimensión indeterminada. Escañizado para cristal.
Minerales: CUARZO, YESO
Excavación de 1984



Material Constructivo

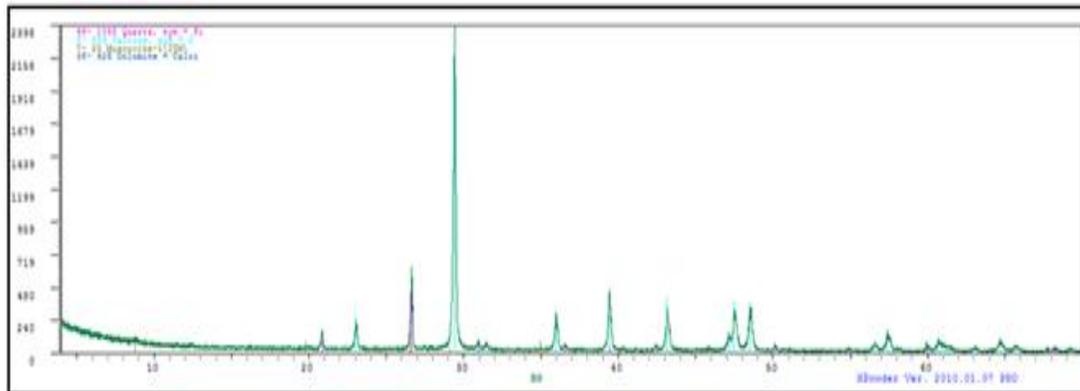
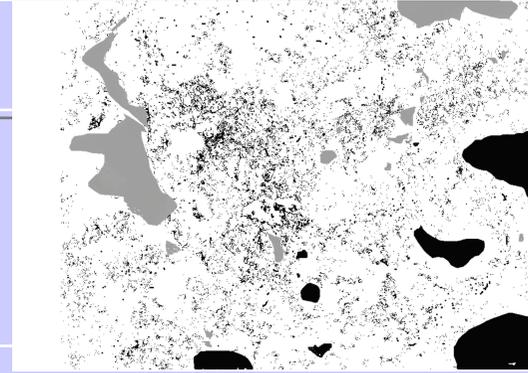
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Nordeste	Yacimiento	Barrugat		
Siglado	B-08	Nº Inventario	67	Localización	Sondeos T-T'

Cronología	s. I a. C. / VII d. C.	Color	7.5YR 8/2 PINKISH WHITE	Naturaleza	Pared
-------------------	------------------------	--------------	----------------------------	-------------------	-------

Observaciones Fragmento de pared extraído de pieza de dimensión indeterminada. Fragmento de pared con pintura romana.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, CAOLINITA
Excavación de 1984



Material Constructivo

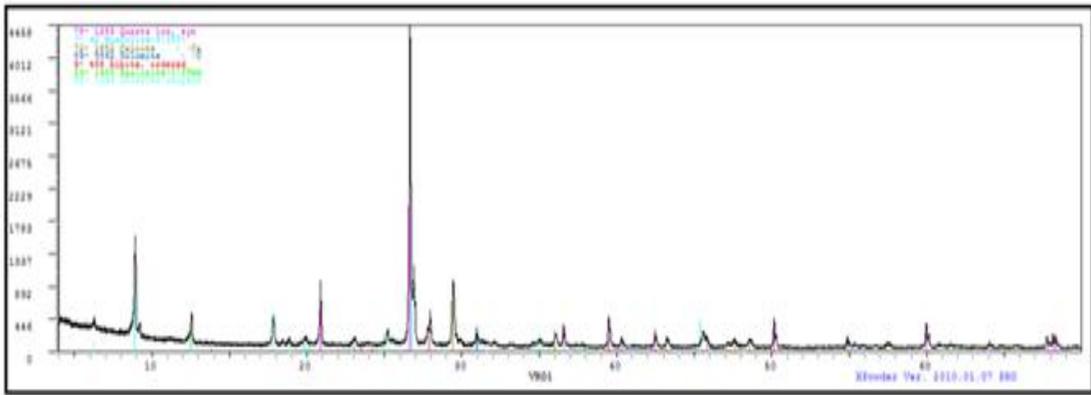
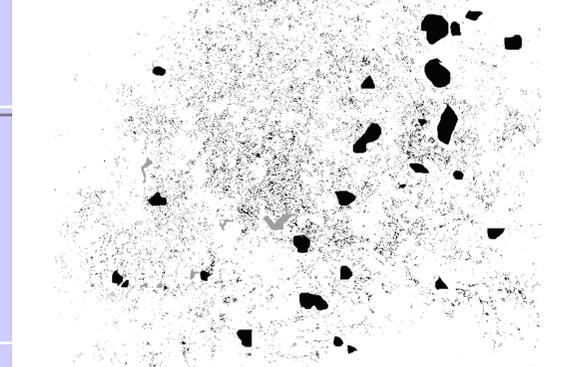
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-01	Nº Inventario	68	Localización	UE 134

Cronología	Fines s. VI a.C.	Color	7.5YR 8/2 PINKISH WHITE	Naturaleza	Mortero
-------------------	------------------	--------------	-------------------------	-------------------	---------

Observaciones
Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, CAOLINITA, CLORITA



Material Constructivo

Registros 123

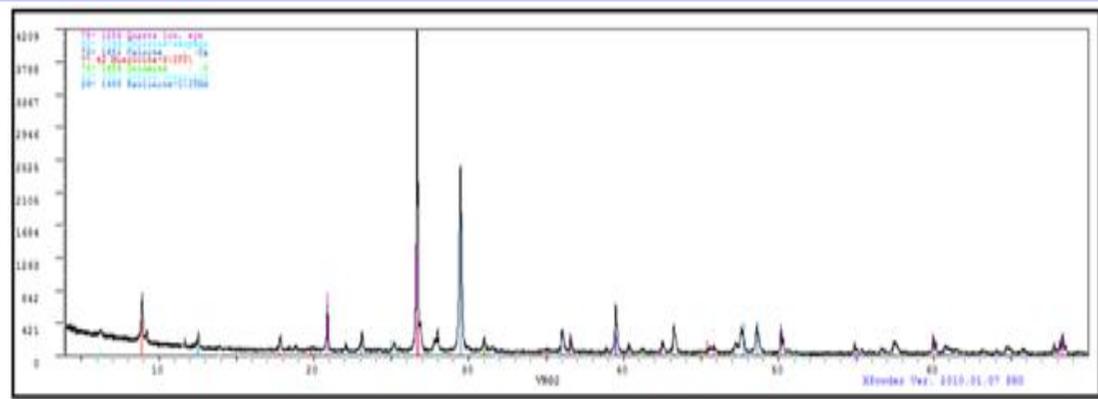
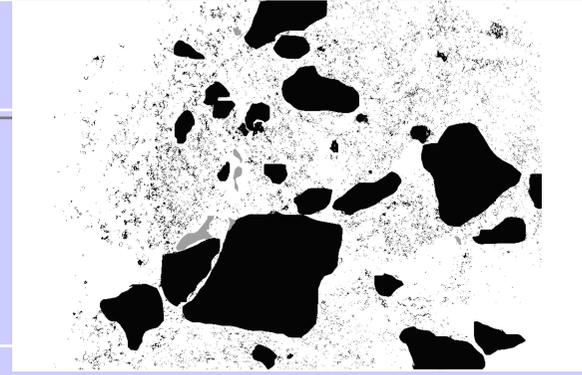
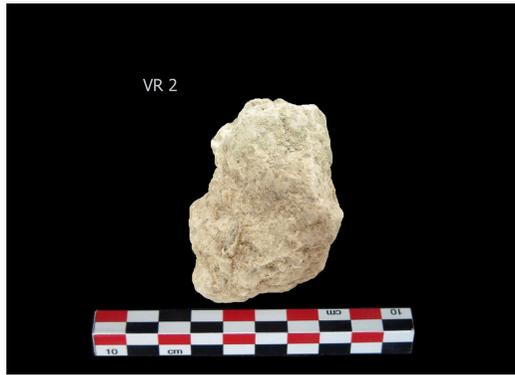
Imagen

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-02	Nº Inventario	69	Localización	UE 117

Cronología	Fines s. VI a.C.	Color	10YR 7/2 LIGTH GRAY	Naturaleza	Mortero
------------	------------------	-------	---------------------	------------	---------

Observaciones Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, CAOLINITA, CLORITA

- Nuevo
- Borrar
- Todos
- Ordenar
- Buscar
- Imprimir



Material Constructivo

Registros 123

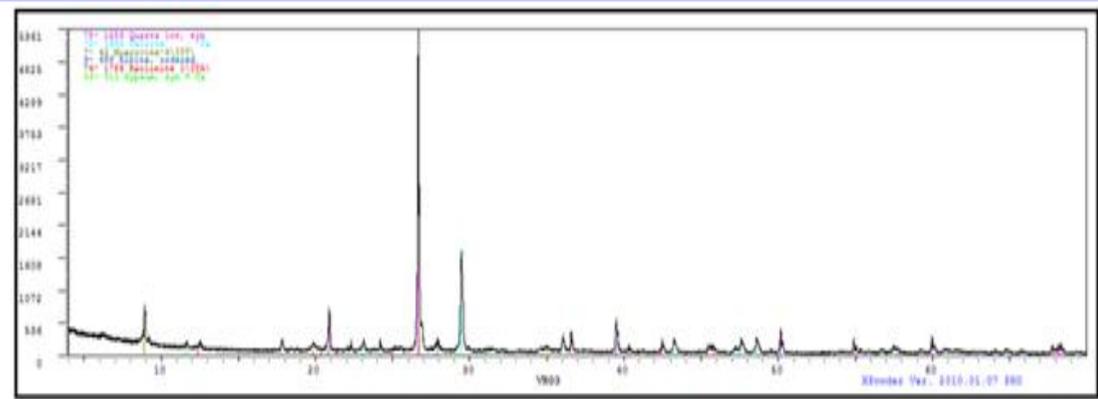
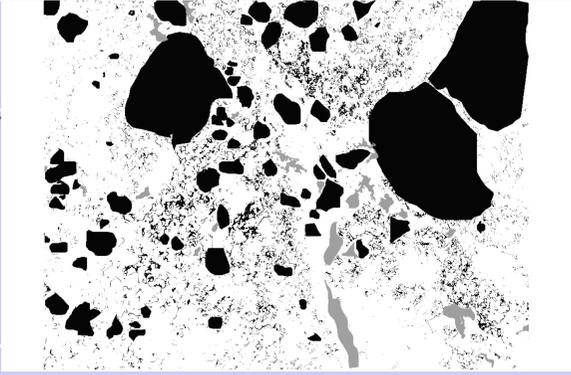
Imagen

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-03	Nº Inventario	70	Localización	UE 108

Cronología	Fines s. VI a.C.	Color	7.5YR 8/2 PINKISH WHITE	Naturaleza	Mortero
------------	------------------	-------	-------------------------	------------	---------

Observaciones Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ALBITA, CAOLINITA, YESO

- Nuevo
- Borrar
- Todos
- Ordenar
- Buscar
- Imprimir



Material Constructivo

Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

Buscar

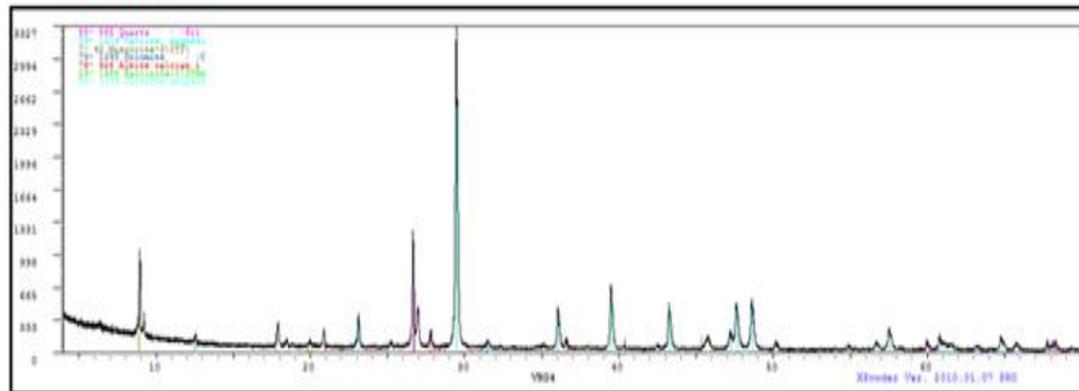
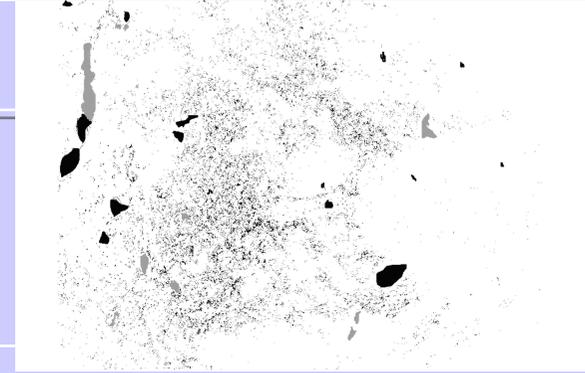
Imprimir

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-04	Nº Inventario	71	Localización	UE 114

Cronología	500 - 450 a. C.	Color	7.5YR 7/2 PINKISH GRAY	Naturaleza	Mortero
-------------------	-----------------	--------------	------------------------	-------------------	---------

Observaciones

**Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, CAOLINITA, CLORITA**



Material Constructivo

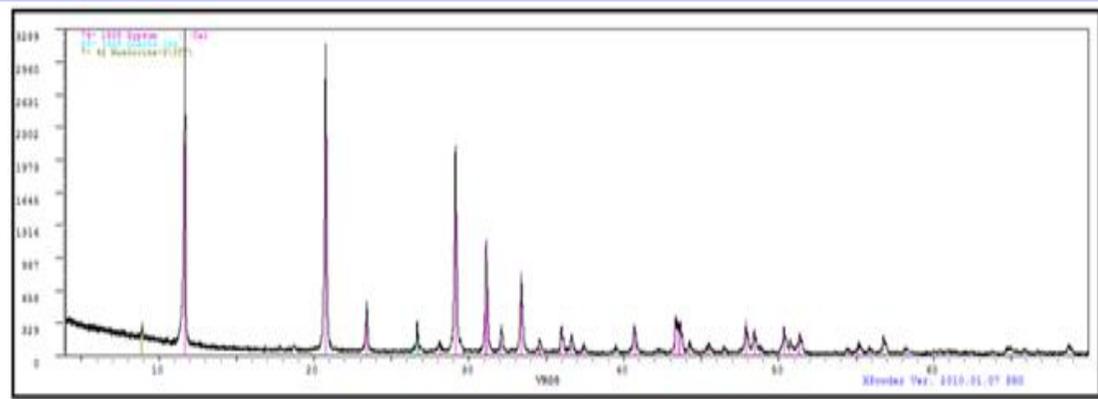
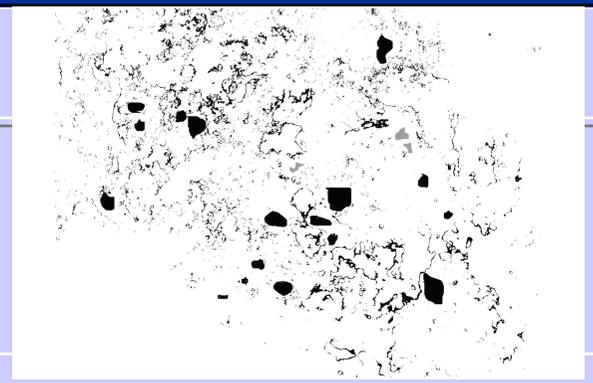
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-05	Nº Inventario	72	Localización	UE 69

Cronología	500 - 450 a. C.	Color	10YR 8/1 WHITE	Naturaleza	Estuco
-------------------	-----------------	--------------	----------------	-------------------	--------

Observaciones Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, MOSCOVITA, YESO



Material Constructivo

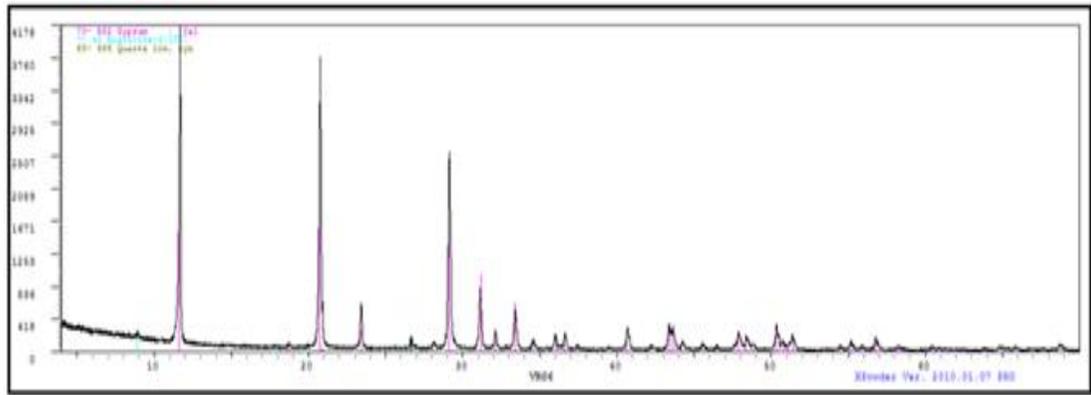
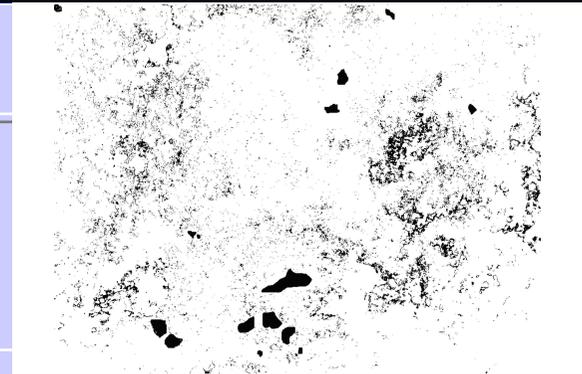
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-06	Nº Inventario	73	Localización	UE 69

Cronología	500 - 450 a. C.	Color	2.5Y 8/2 PALE YELLOW	Naturaleza	Estuco
-------------------	-----------------	--------------	----------------------	-------------------	--------

Observaciones
Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, MOSCOVITA, YESO



Material Constructivo

Registros 123

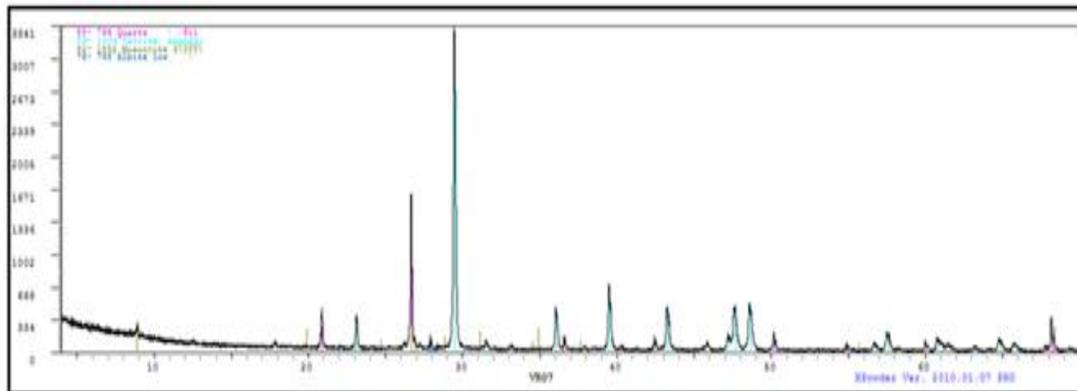
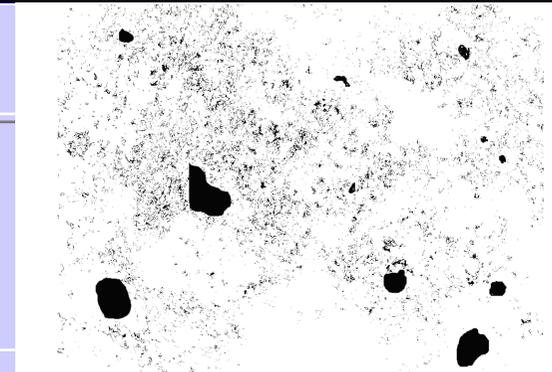
Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-07	Nº Inventario	74	Localización	UE 105

Cronología	450 – 400 a. C.	Color	2.5Y 8/1 WHITE	Naturaleza	Mortero
------------	-----------------	-------	----------------	------------	---------

Observaciones

Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ALBITA



Material Constructivo

Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

Buscar

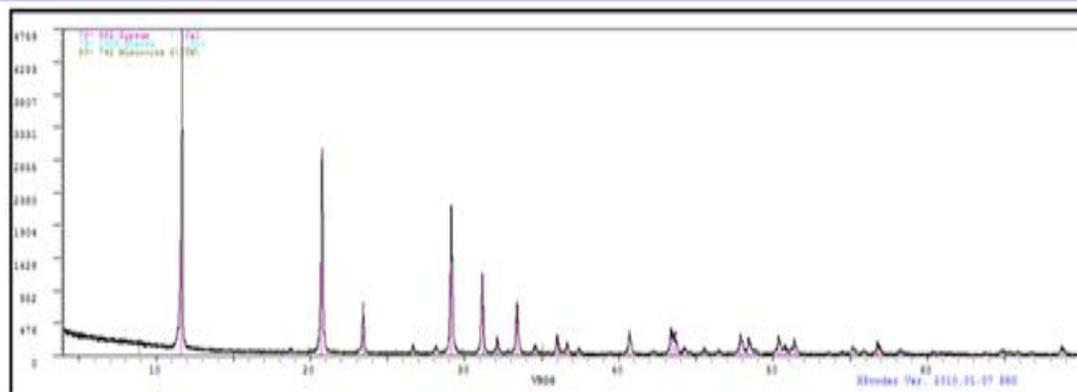
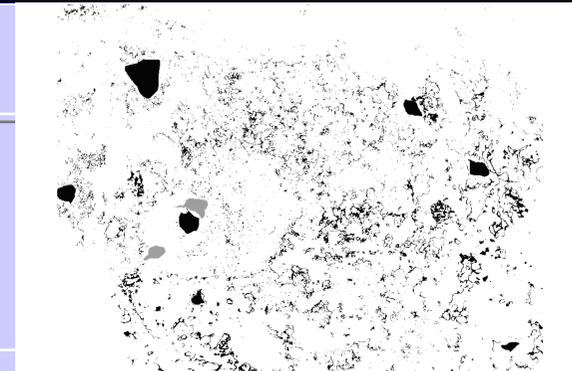
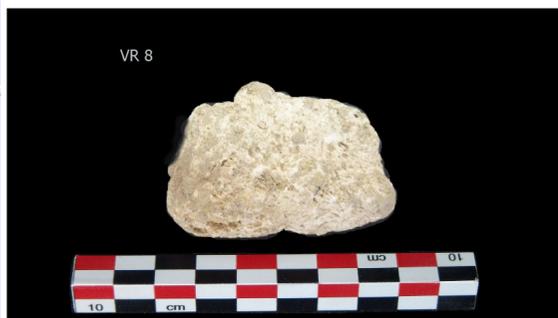
Imprimir

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-08	Nº Inventario	75	Localización	UE 104

Cronología	450 – 400 a. C.	Color	5YR 8/1 WHITE	Naturaleza	Estuco
-------------------	-----------------	--------------	---------------	-------------------	--------

Observaciones

Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, MOSCOVITA, YESO



Material Constructivo

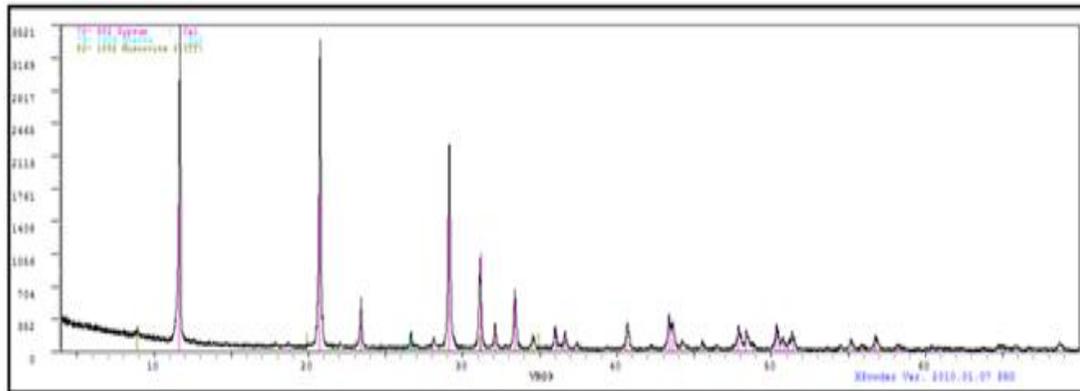
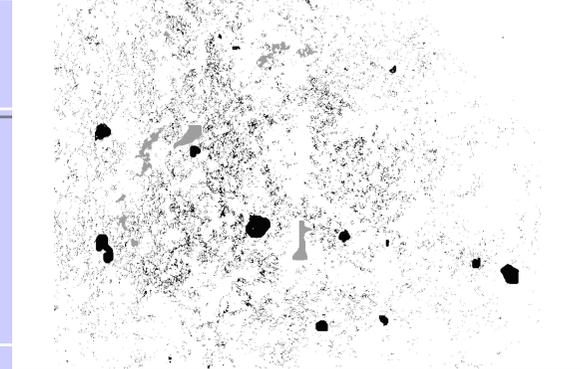
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-09	Nº Inventario	76	Localización	UE 103

Cronología	450 – 400 a. C.	Color	7.5YR 7/4 PINK	Naturaleza	Estuco
-------------------	-----------------	--------------	----------------	-------------------	--------

Observaciones Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, MOSCOVITA, YESO



Material Constructivo

Registros 123

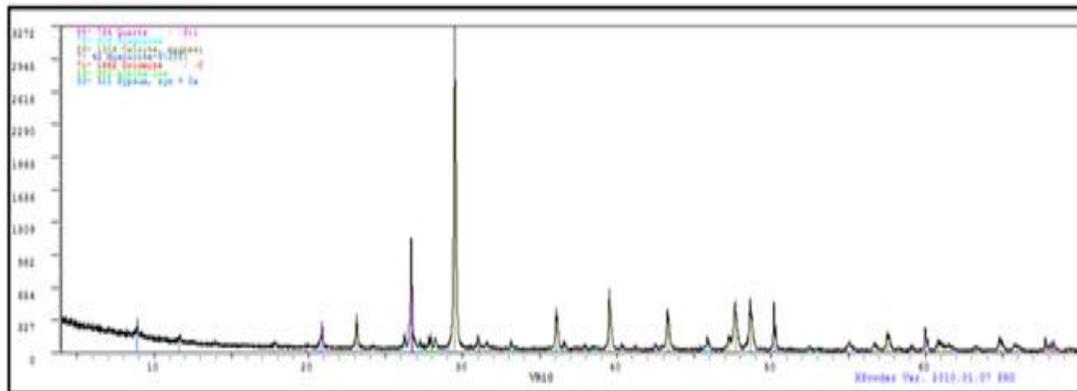
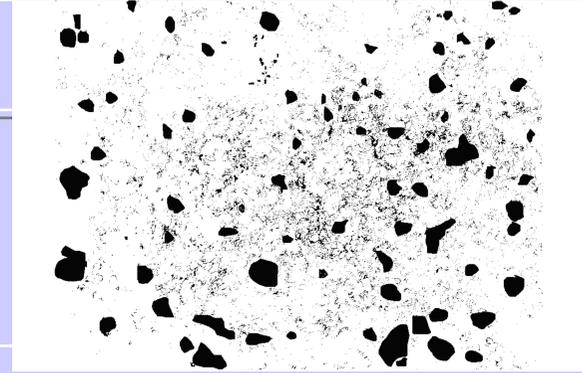
Imagen

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-10	Nº Inventario	77	Localización	UE 102

Cronología	450 – 400 a. C.	Color	7.5YR 7/3 PINK	Naturaleza	Mortero
------------	-----------------	-------	----------------	------------	---------

Observaciones

Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, ARAGONITO, YESO



Material Constructivo

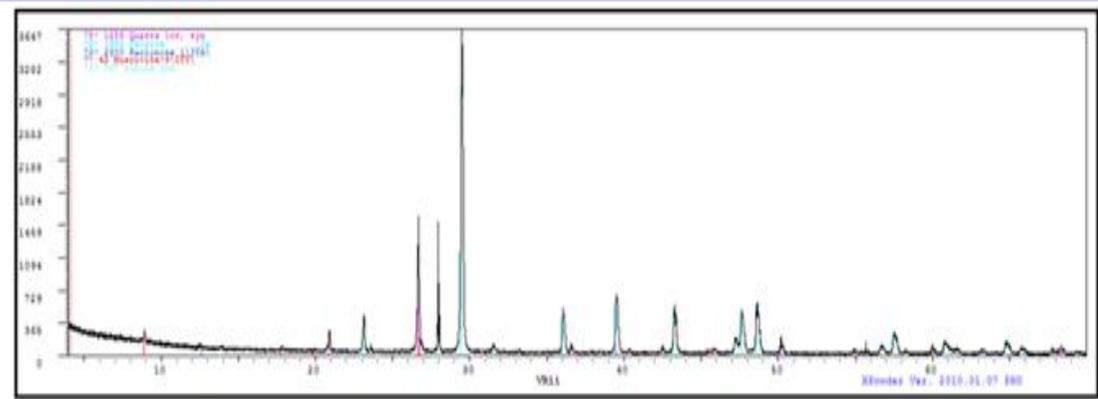
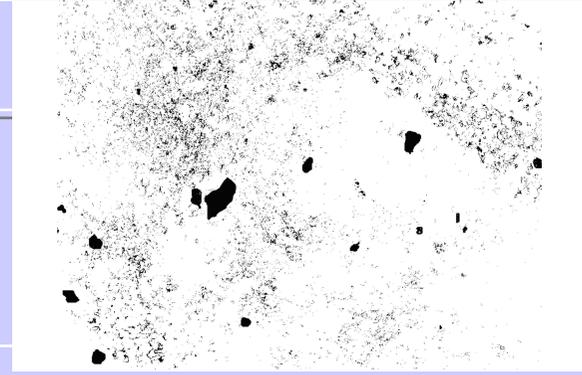
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-11	Nº Inventario	78	Localización	UE 102

Cronología	450 – 400 a. C.	Color	10YR 8/1 WHITE	Naturaleza	Mortero
-------------------	-----------------	--------------	----------------	-------------------	---------

Observaciones Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ALBITA, CAOLINITA



Material Constructivo

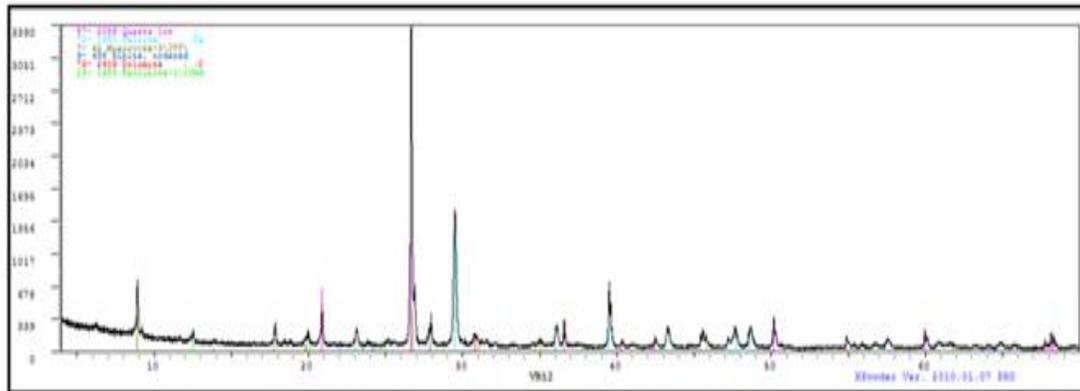
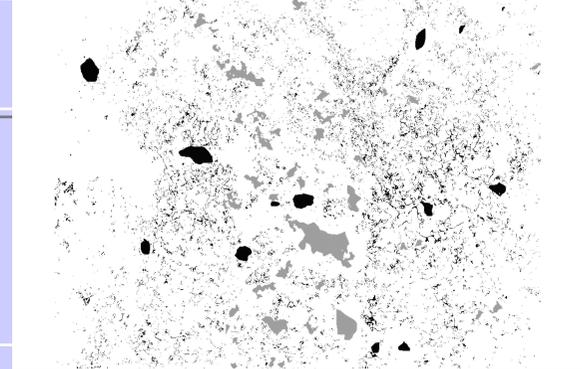
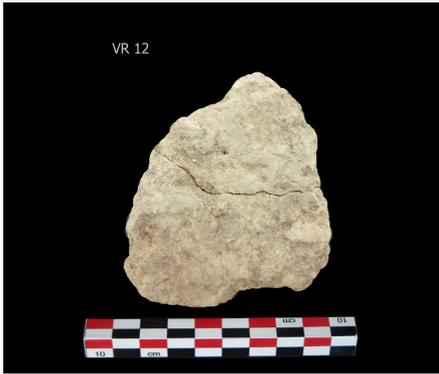
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-12	Nº Inventario	79	Localización	UE 100

Cronología	450 – 400 a. C.	Color	10YR 8/1 WHITE	Naturaleza	Mortero
------------	-----------------	-------	----------------	------------	---------

Observaciones
Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, CAOLINITA



Material Constructivo

Registros 123

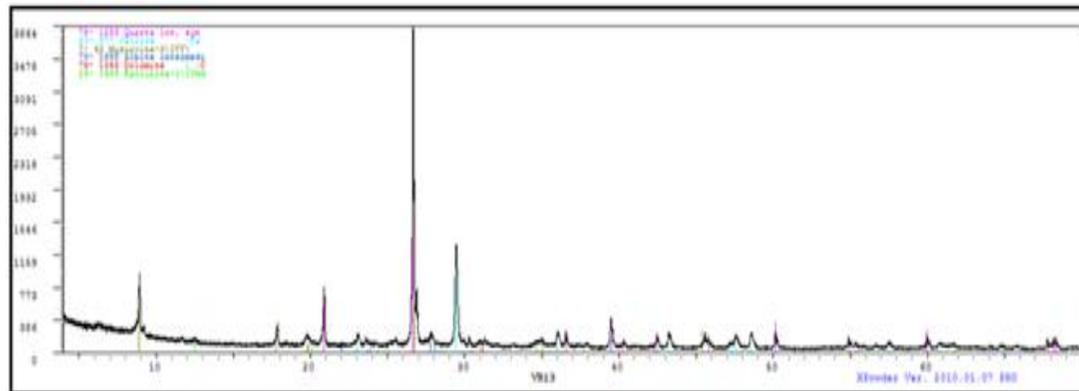
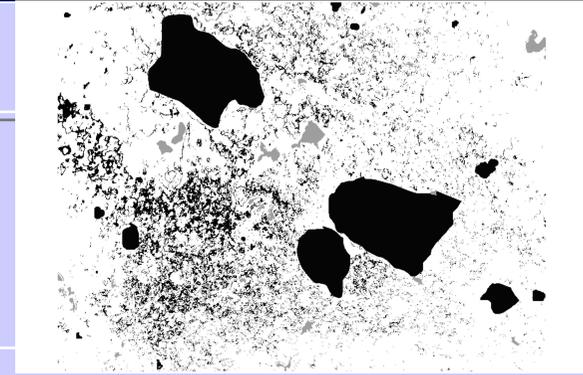
Imagen

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-13	Nº Inventario	80	Localización	UE 98

Cronología	450 – 400 a. C.	Color	10YR 8/1 WHITE	Naturaleza	Mortero
------------	-----------------	-------	----------------	------------	---------

Observaciones

Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, CAOLINITA



Material Constructivo

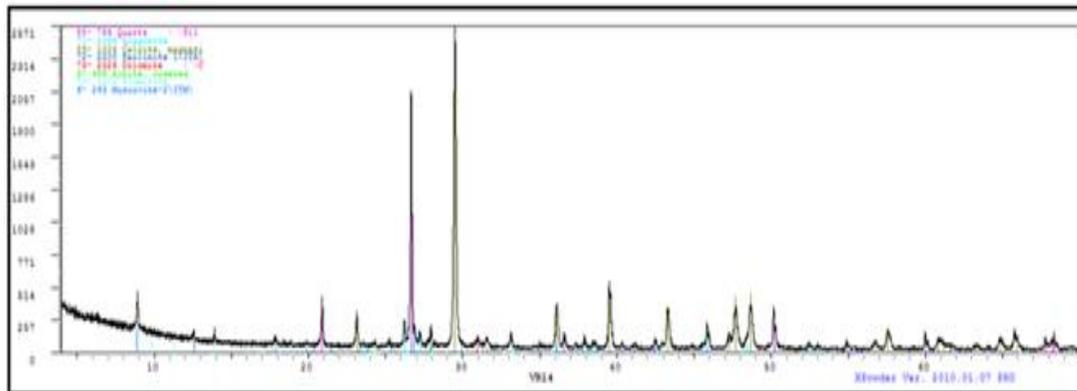
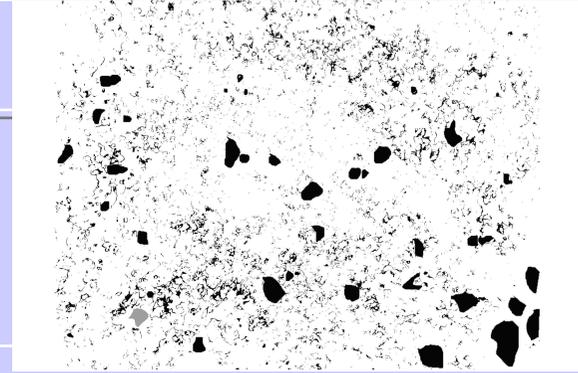
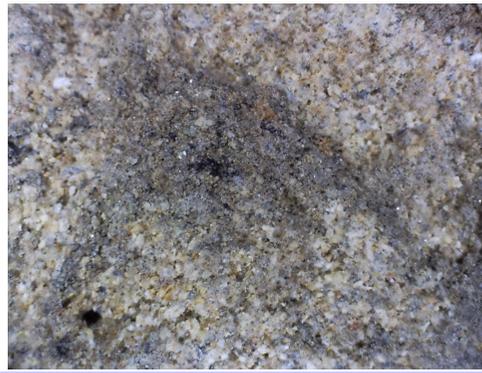
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-14	Nº Inventario	81	Localización	UE 65

Cronología	450 – 400 a. C.	Color	10YR 8/1 WHITE	Naturaleza	Mortero
------------	-----------------	-------	----------------	------------	---------

Observaciones Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, ARAGONITO, CAOLINITA, ALUMINITA



Material Constructivo

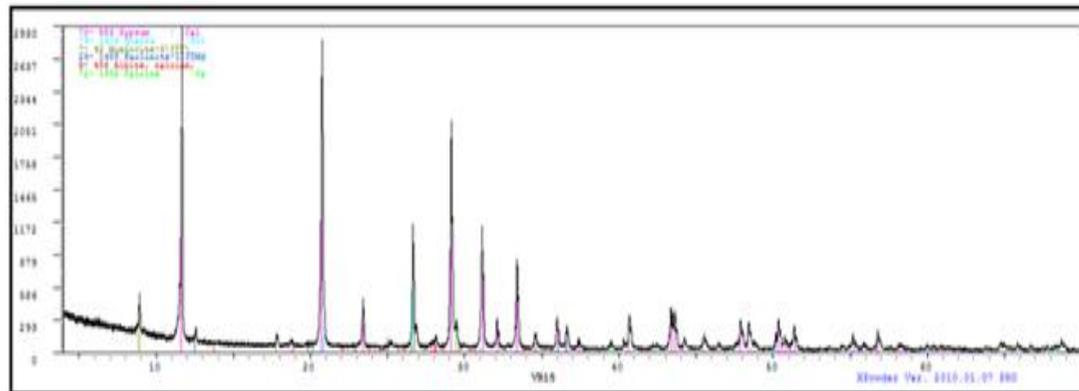
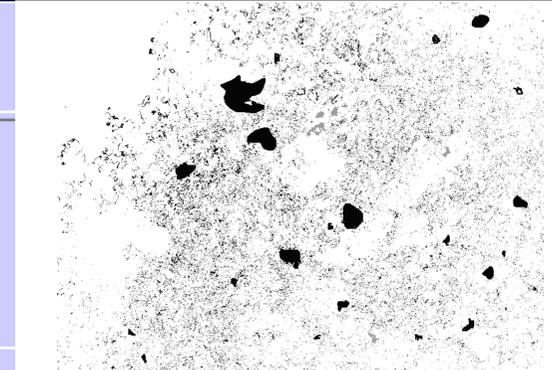
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-15	Nº Inventario	82	Localización	UE 97

Cronología	400 – 350 a. C.	Color	7.5YR 6/3 LIGTH BROWN	Naturaleza	Estuco
------------	-----------------	-------	-----------------------	------------	--------

Observaciones Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ALBITA, CAOLINITA, YESO, ARAGONITO



Material Constructivo

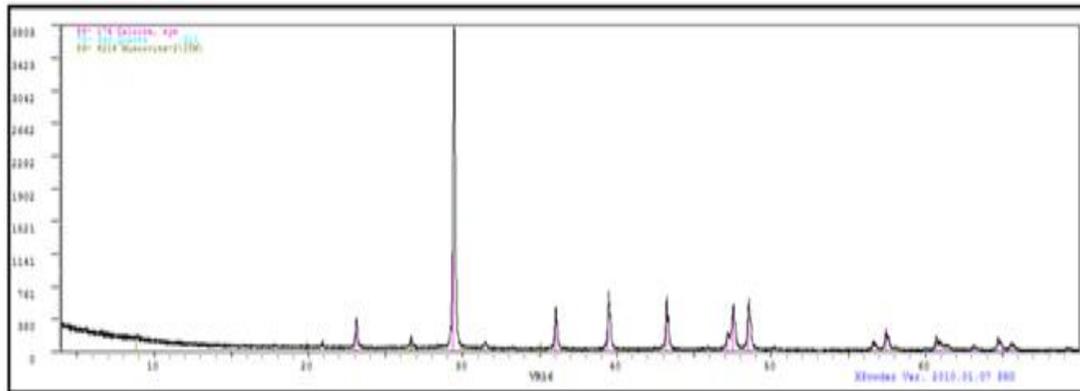
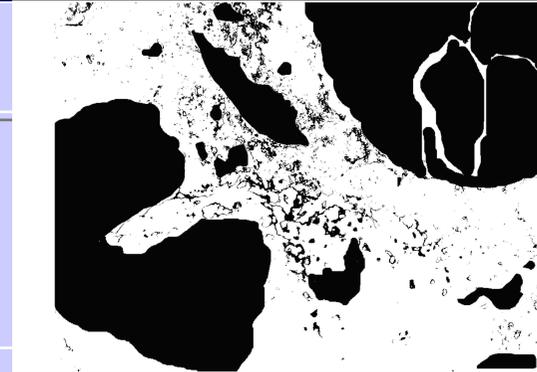
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-16	Nº Inventario	83	Localización	UE 95

Cronología	400 – 350 a. C.	Color	10YR 8/1 WHITE	Naturaleza	Mortero
------------	-----------------	-------	----------------	------------	---------

Observaciones Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA



Material Constructivo

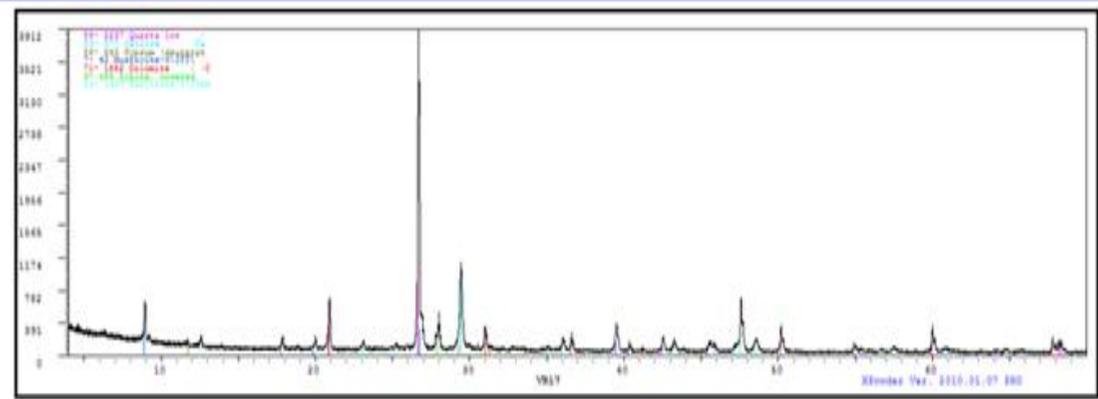
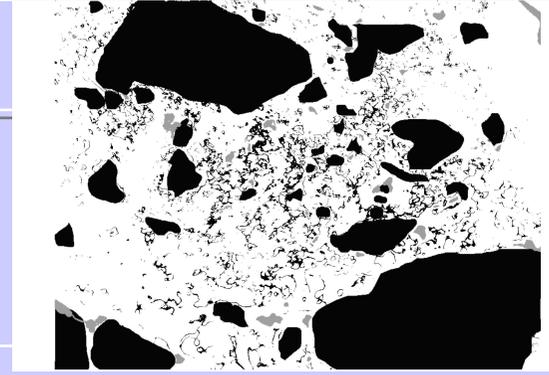
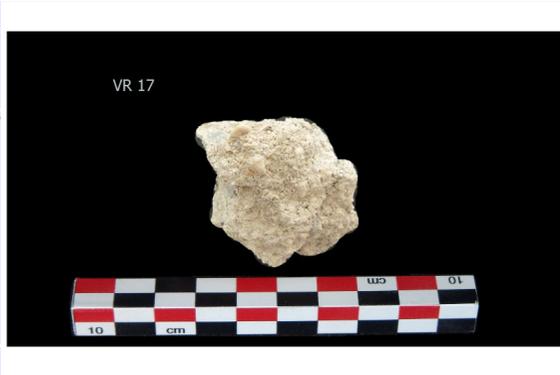
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-17	Nº Inventario	84	Localización	UE 94

Cronología	400 – 350 a. C.	Color	10YR 8/2 VERY PALE BROWN	Naturaleza	Mortero
------------	-----------------	-------	--------------------------	------------	---------

Observaciones Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, CAOLINITA, YESO



Material Constructivo

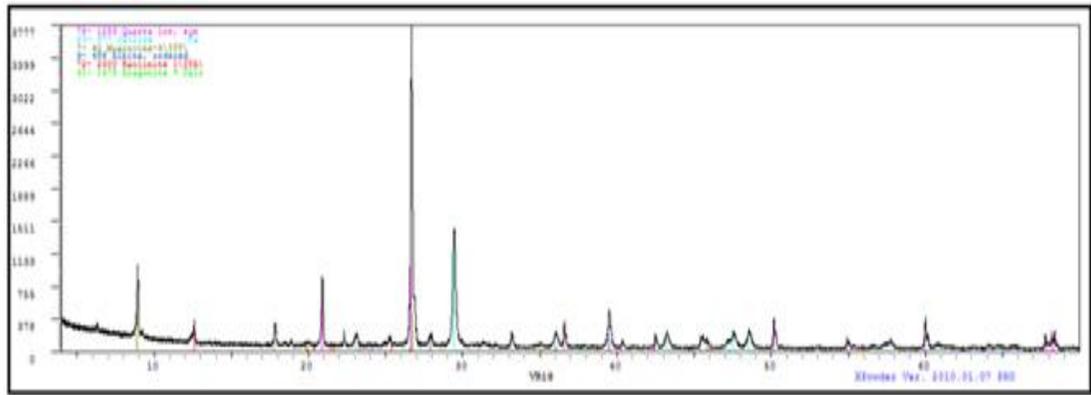
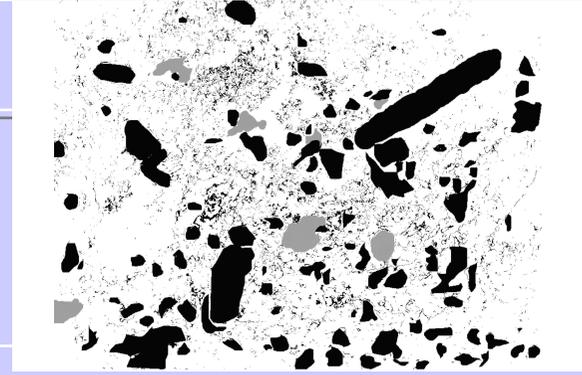
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-18	Nº Inventario	85	Localización	UE 93

Cronología	400 – 350 a. C.	Color	7.5YR 7/2 PINKISH GRAY	Naturaleza	Mortero
-------------------	-----------------	--------------	------------------------	-------------------	---------

Observaciones
Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ALBITA, CAOLINITA



Material Constructivo

Registros 123

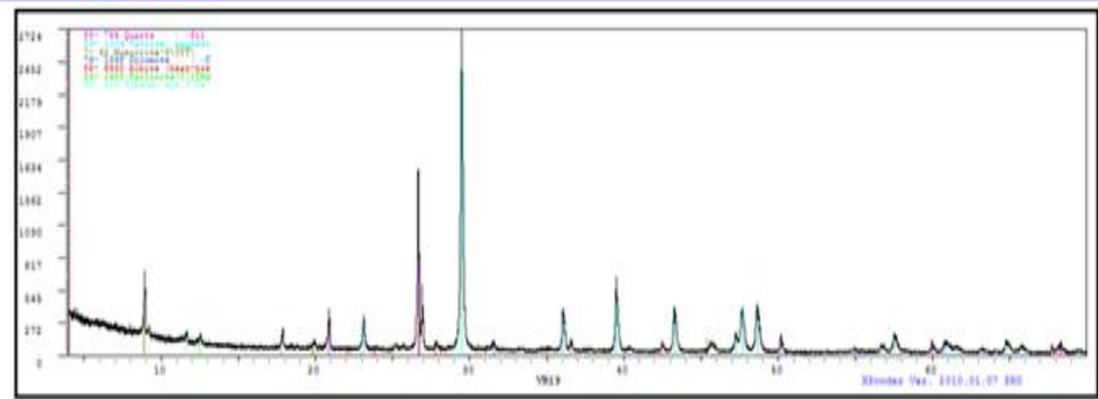
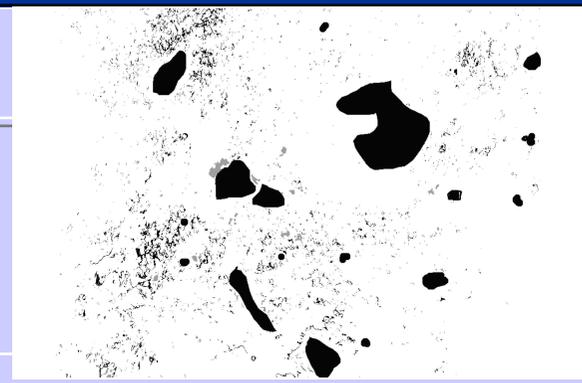
Imagen
◀◀ ▶▶

- Nuevo
- Borrar
- Todos
- Ordenar
- Buscar
- Imprimir

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-19	Nº Inventario	86	Localización	UE 55

Cronología	400 – 350 a. C.	Color	10YR 8/1 WHITE	Naturaleza	Mortero
------------	-----------------	-------	----------------	------------	---------

Observaciones Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, CAOLINITA, YESO



Material Constructivo

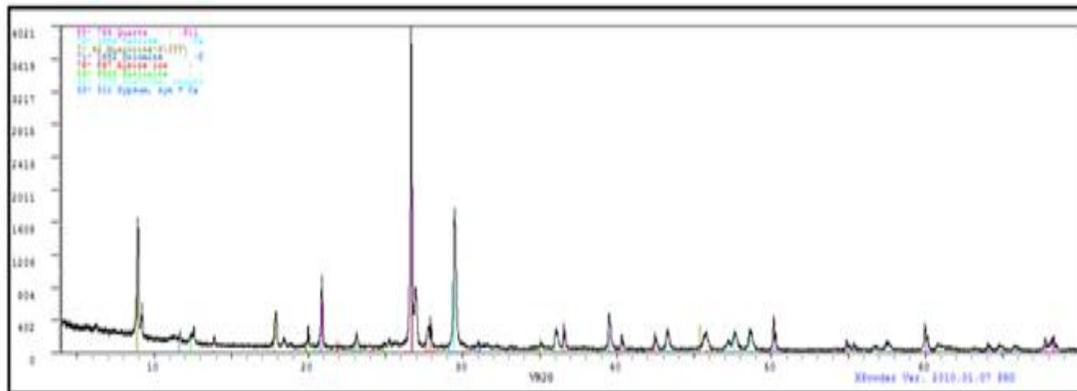
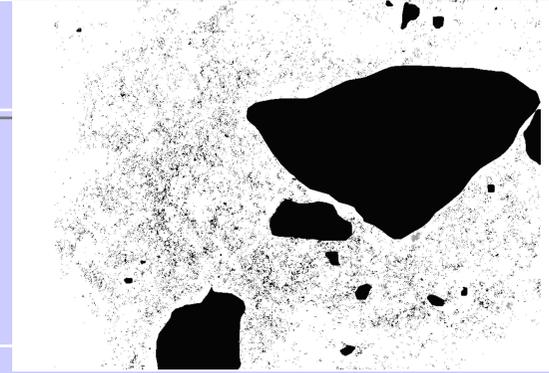
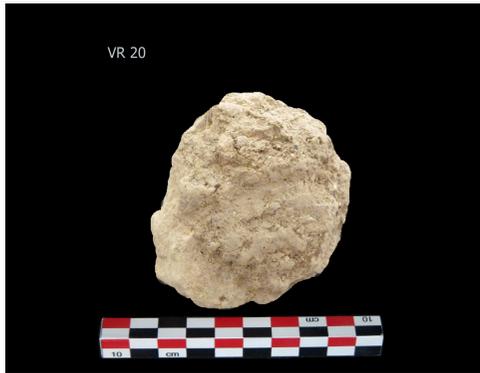
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-20	Nº Inventario	87	Localización	UE 55

Cronología	400 – 350 a. C.	Color	7.5YR 8/2 PINKISH WHITE	Naturaleza	Mortero
-------------------	-----------------	--------------	-------------------------	-------------------	---------

Observaciones Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, CAOLINITA, YESO, ANALCIMA



Material Constructivo

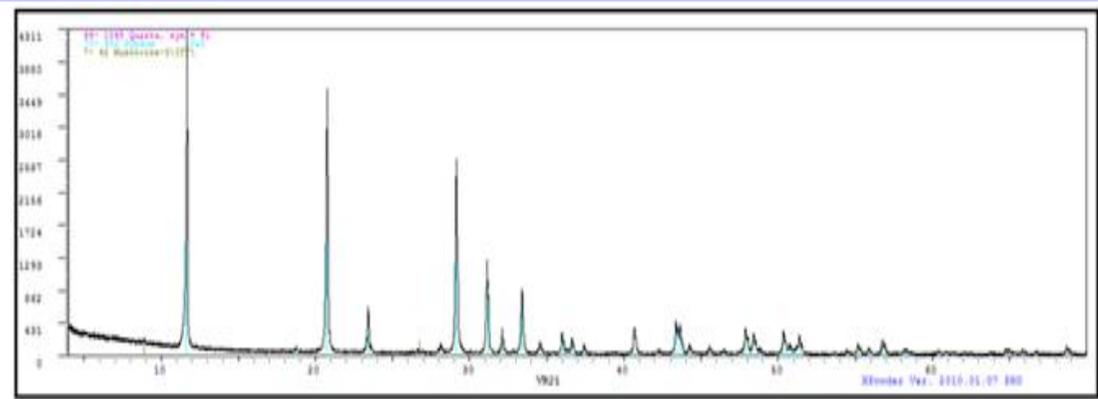
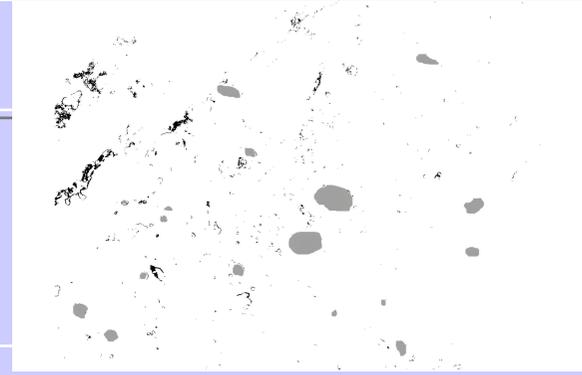
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-21	Nº Inventario	88	Localización	UE 59

Cronología	400 – 350 a. C.	Color	7.5YR 8/1 WHITE	Naturaleza	Estuco
------------	-----------------	-------	-----------------	------------	--------

Observaciones Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, MOSCOVITA, YESO



Material Constructivo

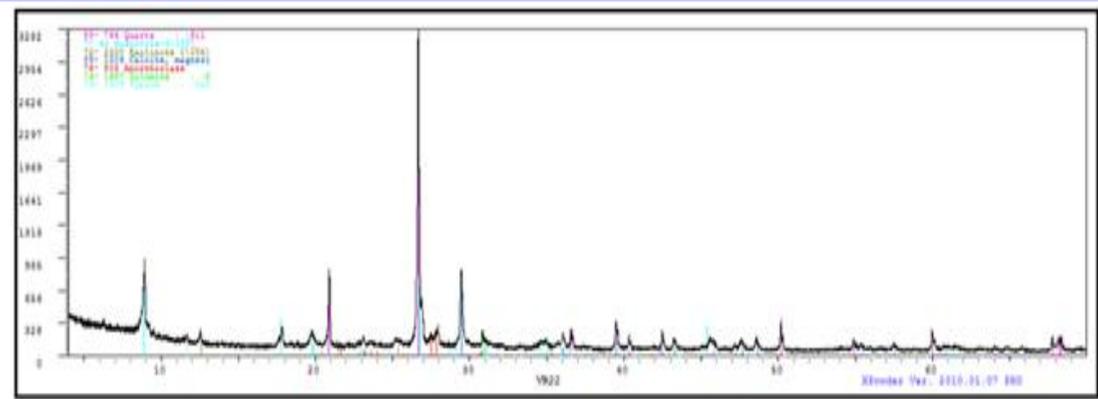
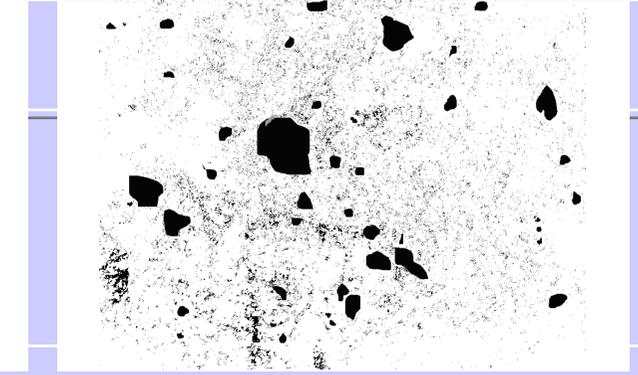
Registros 123

Imagen

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-22	Nº Inventario	89	Localización	UE 53

Cronología	400 – 350 a. C.	Color	10YR 8/2 VERY PALE BROWN	Naturaleza	Mortero
------------	-----------------	-------	--------------------------	------------	---------

Observaciones Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ANORTOCLASA, CAOLINITA, YESO



Material Constructivo

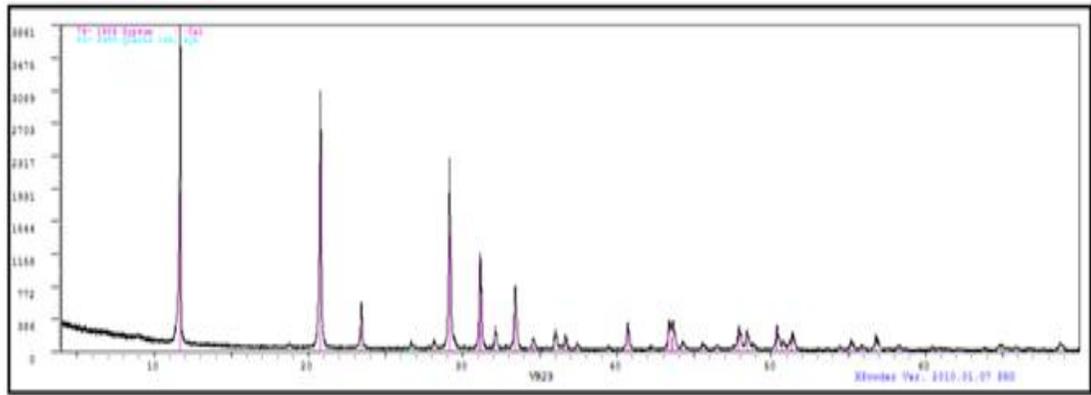
Registros 123

Imagen

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-23	Nº Inventario	90	Localización	UE 48

Cronología	350 – 300 a. C.	Color	10YR 8/1 WHITE	Naturaleza	Estuco
------------	-----------------	-------	----------------	------------	--------

Observaciones Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, YESO



Material Constructivo

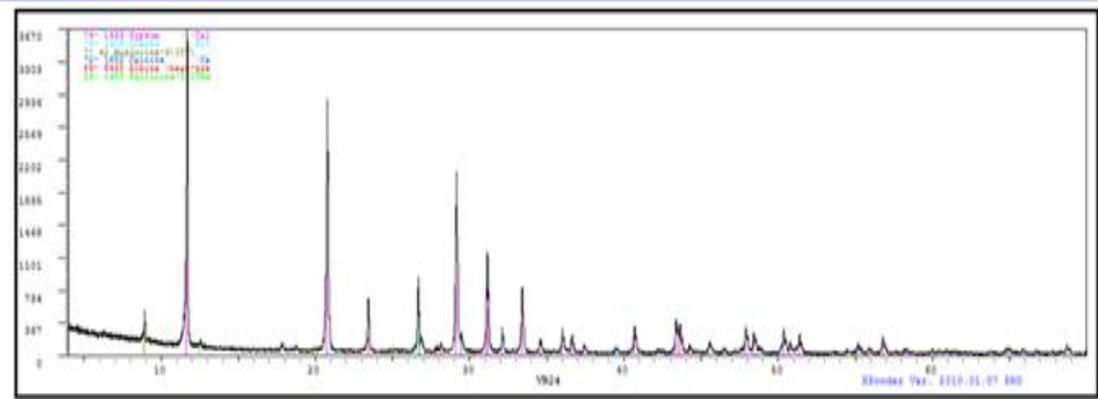
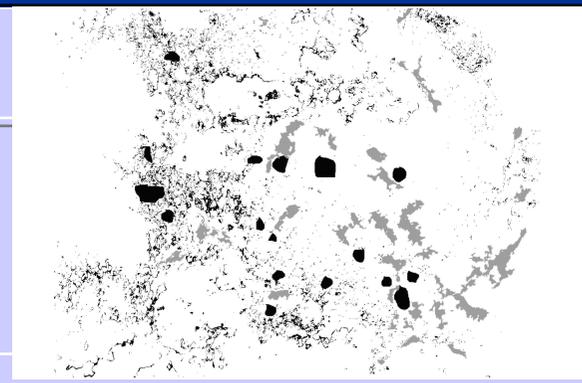
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-24	Nº Inventario	91	Localización	UE 47

Cronología	350 – 300 a. C.	Color	10YR 8/1 WHITE	Naturaleza	Mortero
------------	-----------------	-------	----------------	------------	---------

Observaciones
Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ALBITA, CAOLINITA, YESO



- Nuevo
- Borrar
- Todos
- Ordenar
- Buscar
- Imprimir

Material Constructivo

Registros 123

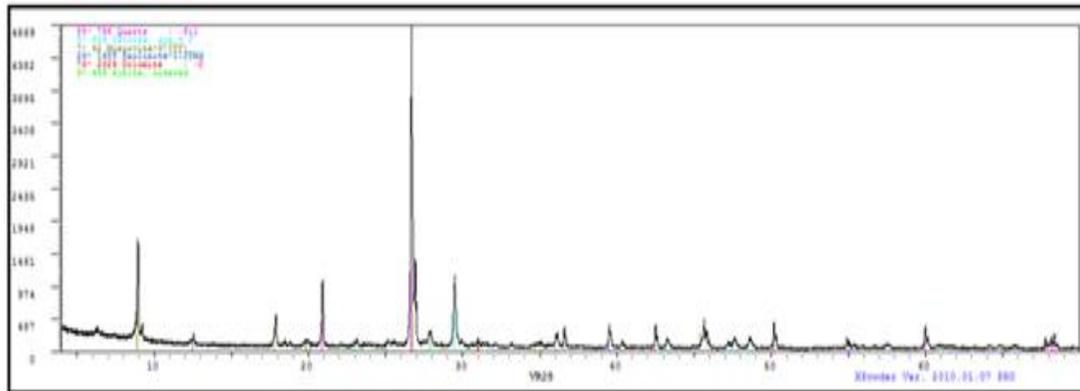
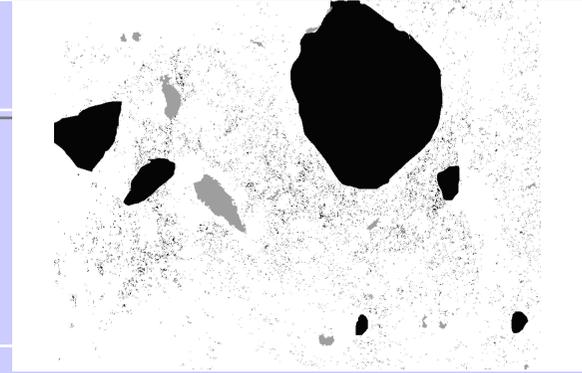
Imagen

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-25	Nº Inventario	92	Localización	UE 45

Cronología	350 – 300 a. C.	Color	7.5YR 7/3 PINK	Naturaleza	Mortero
------------	-----------------	-------	----------------	------------	---------

Observaciones

Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, CAOLINITA



Material Constructivo

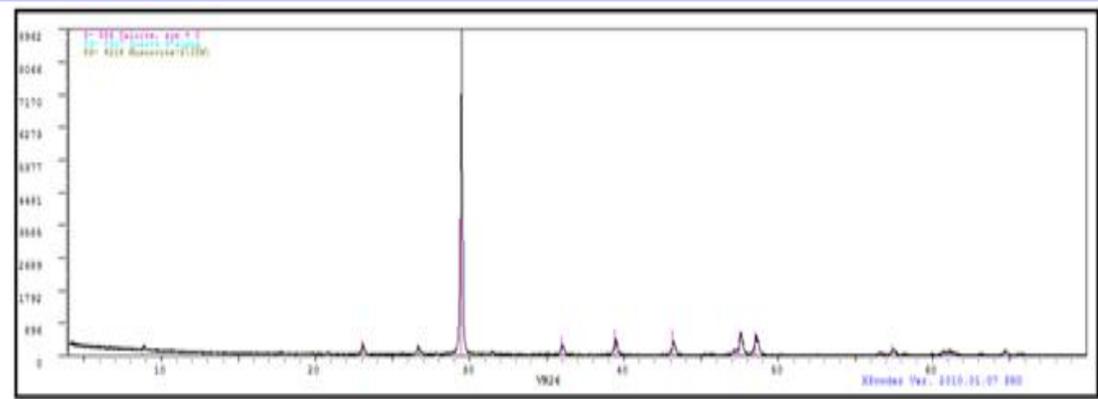
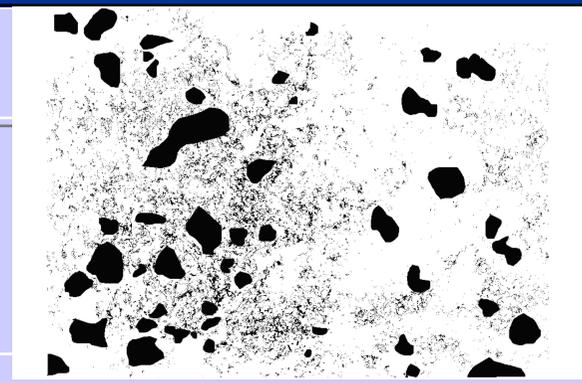
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-26	Nº Inventario	93	Localización	UE 44

Cronología	350 – 300 a. C.	Color	10YR 8/1 WHITE	Naturaleza	Mortero
------------	-----------------	-------	----------------	------------	---------

Observaciones
Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA



Material Constructivo

Registros 123

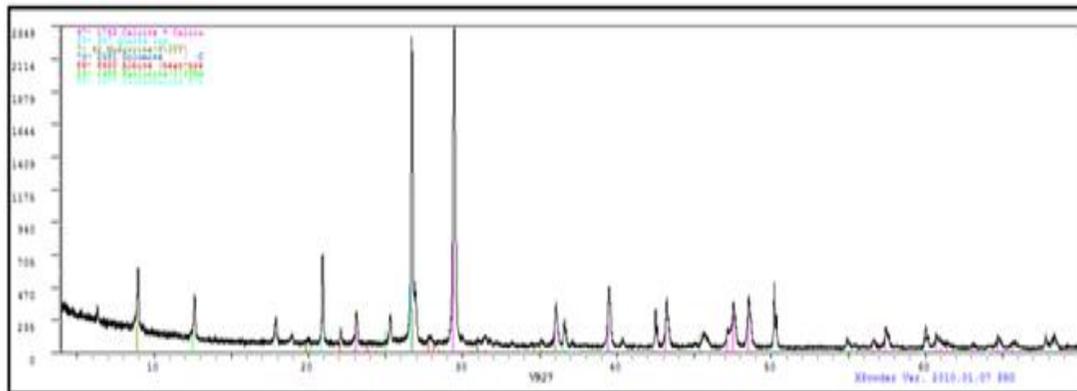
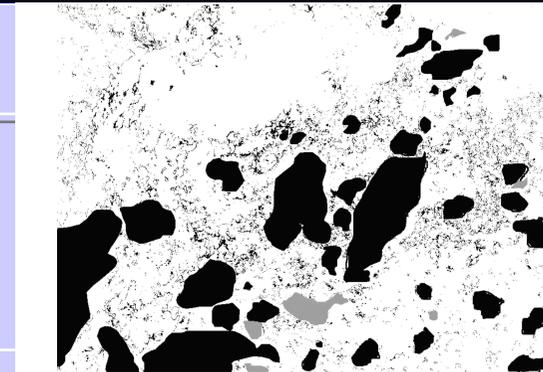
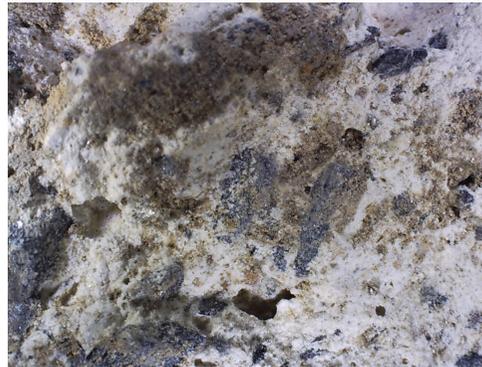
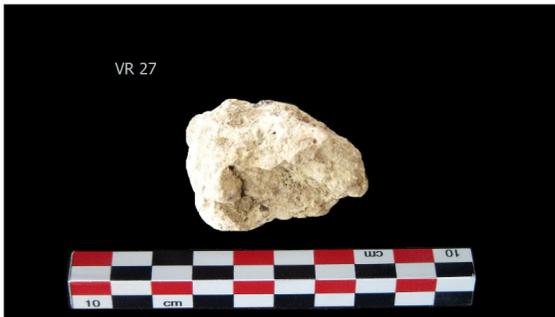
Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-27	Nº Inventario	94	Localización	UE 43

Cronología	350 – 300 a. C.	Color	7.5YR 8/2 PINKISH WHITE	Naturaleza	Mortero
------------	-----------------	-------	-------------------------	------------	---------

Observaciones

Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, CAOLINITA, CRISTOBALITA



Material Constructivo

Registros 123

Imagen

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

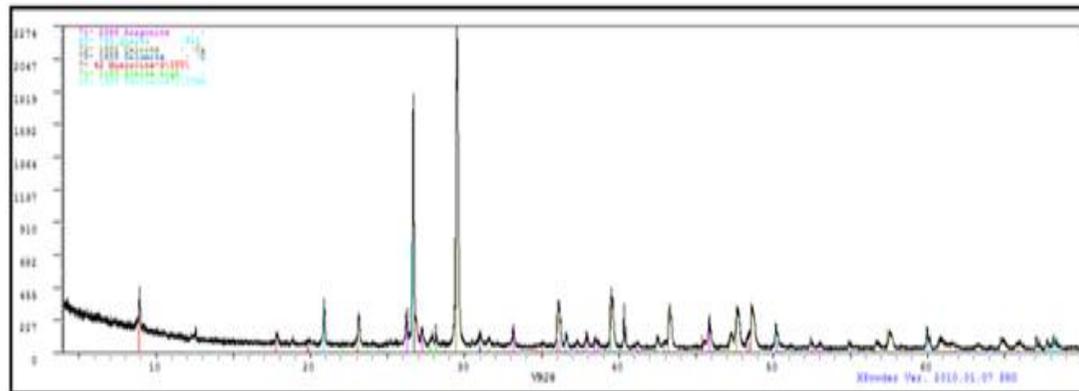
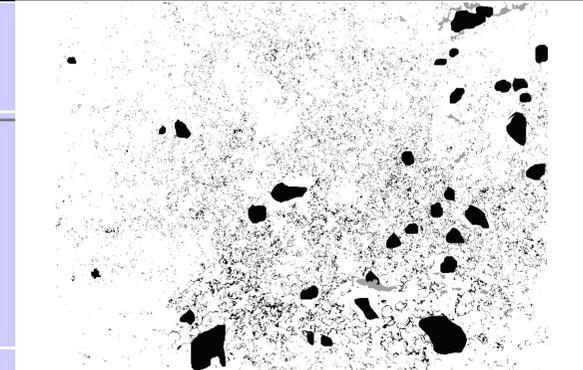
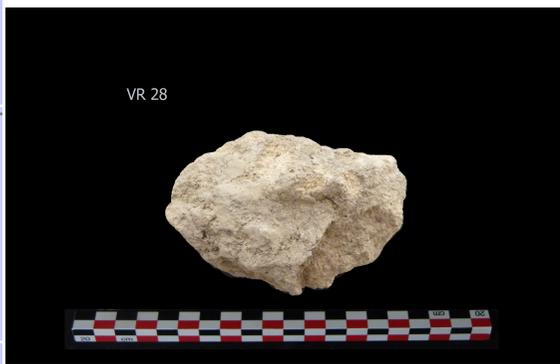
Buscar

Imprimir

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-28	Nº Inventario	95	Localización	UE 89

Cronología	300 - 250 a. C.	Color	10YR 8/3 VERY PALE BROWN	Naturaleza	Mortero
------------	-----------------	-------	--------------------------	------------	---------

Observaciones Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, ARAGONITO, CAOLINITA



Material Constructivo

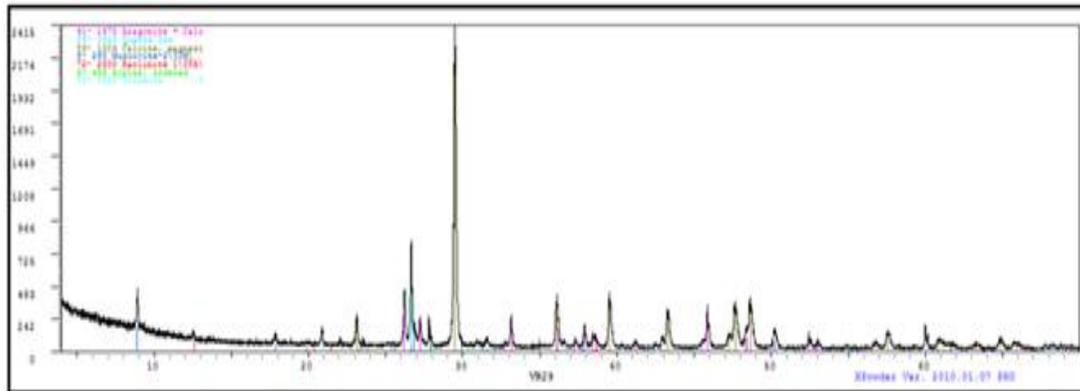
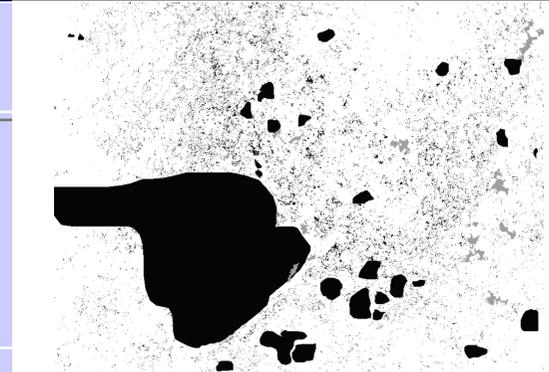
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-29	Nº Inventario	96	Localización	UE 82

Cronología	300 - 250 a. C.	Color	7.5YR 8/3 PINKISH WHITE	Naturaleza	Mortero
------------	-----------------	-------	-------------------------	------------	---------

Observaciones Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, ARAGONITO, CAOLINITA



Material Constructivo

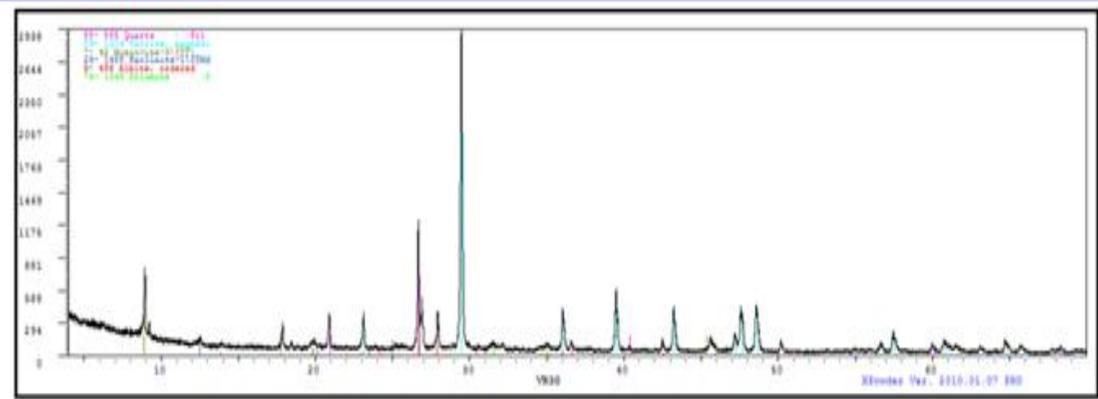
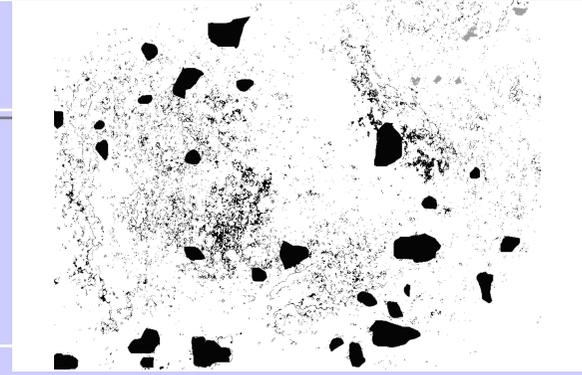
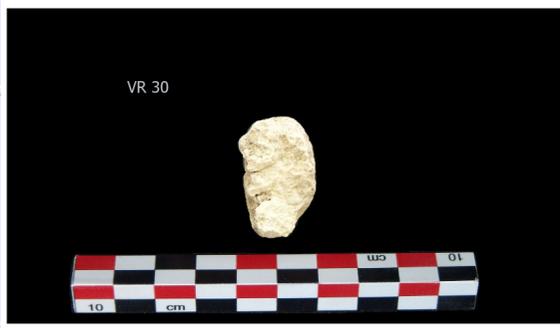
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-30	Nº Inventario	97	Localización	UE 81

Cronología	300 - 250 a. C.	Color	10YR 8/1 WHITE	Naturaleza	Mortero
------------	-----------------	-------	----------------	------------	---------

Observaciones
Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, CAOLINITA



Material Constructivo

Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

Buscar

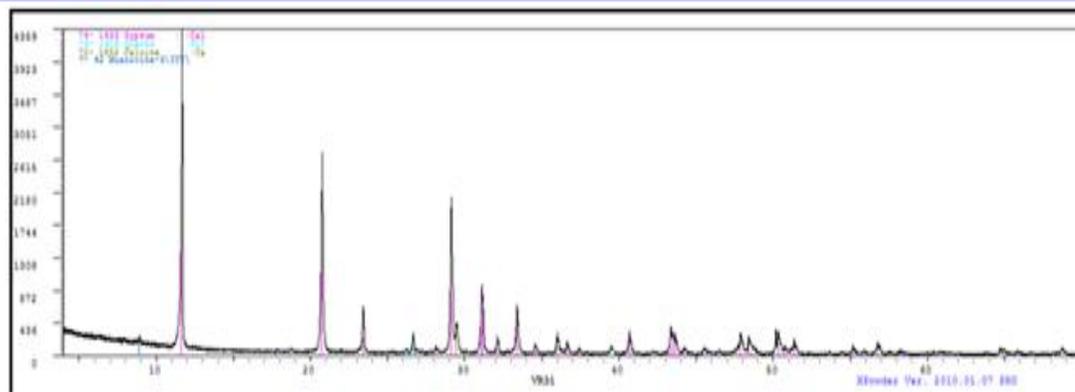
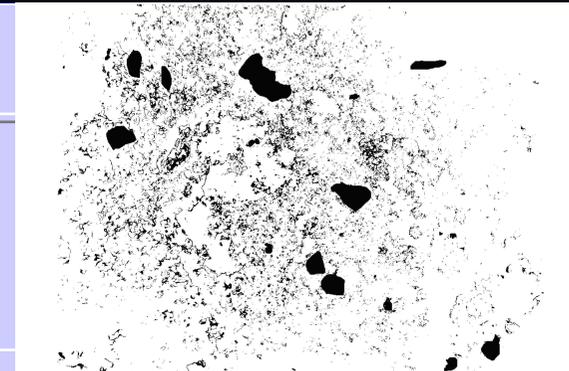
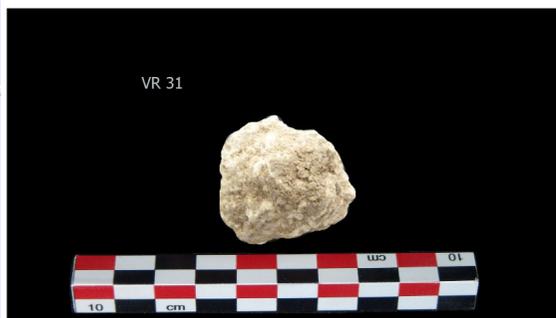
Imprimir

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-31	Nº Inventario	98	Localización	UE 75

Cronología	300 - 250 a. C.	Color	5YR 8/1 WHITE	Naturaleza	Estuco
-------------------	-----------------	--------------	---------------	-------------------	--------

Observaciones

Fragmento de estuco extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, YESO



Material Constructivo

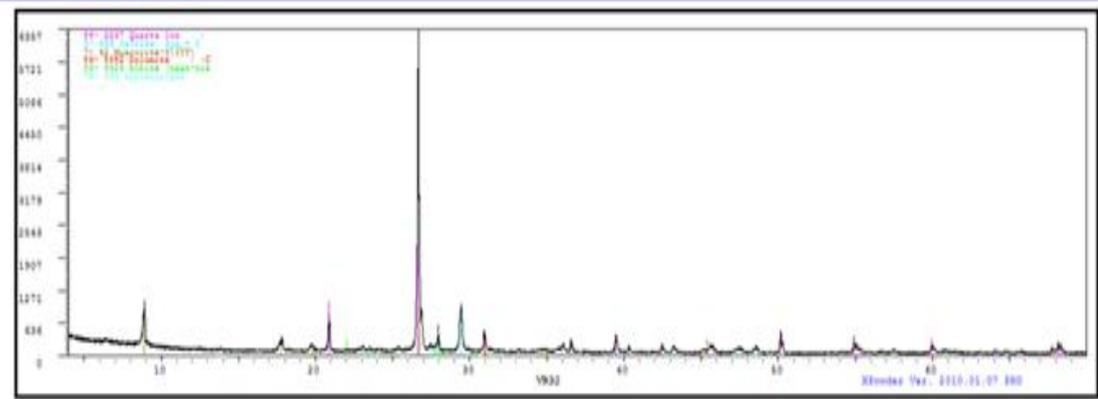
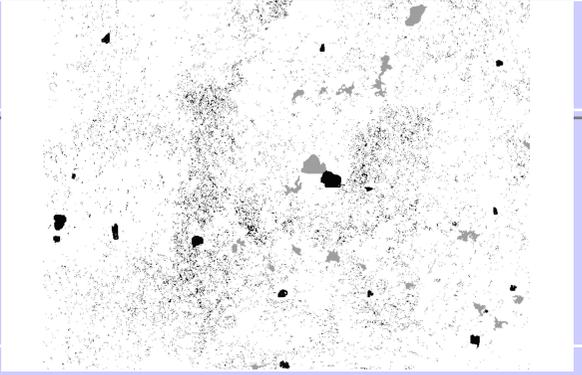
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-32	Nº Inventario	99	Localización	UE 75

Cronología	300 - 250 a. C.	Color	10YR 8/2 VERY PALE BROWN	Naturaleza	Mortero
------------	-----------------	-------	--------------------------	------------	---------

Observaciones
Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ANORTOCLASA, ALBITA



Material Constructivo

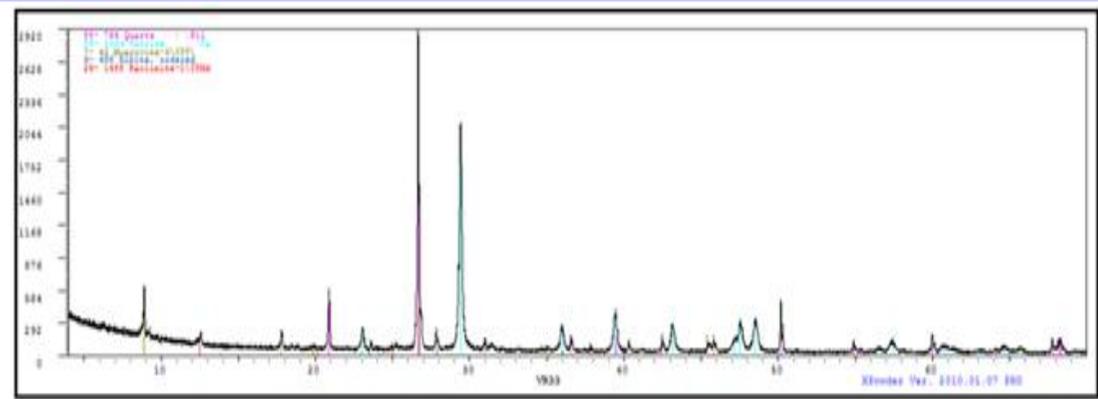
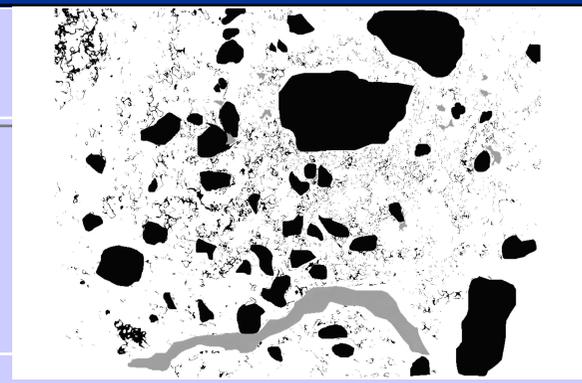
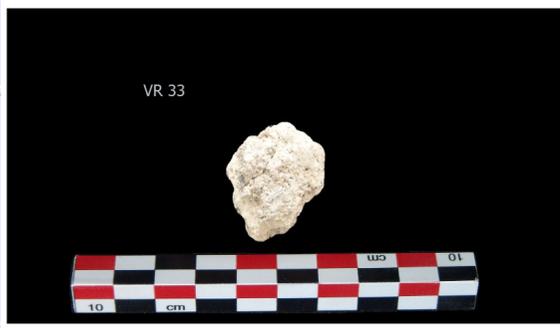
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-33	Nº Inventario	100	Localización	UE 75

Cronología	300 - 250 a. C.	Color	10YR 8/2 VERY PALE BROWN	Naturaleza	Mortero
-------------------	-----------------	--------------	--------------------------	-------------------	---------

Observaciones Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ALBITA, CAOLINITA



Material Constructivo

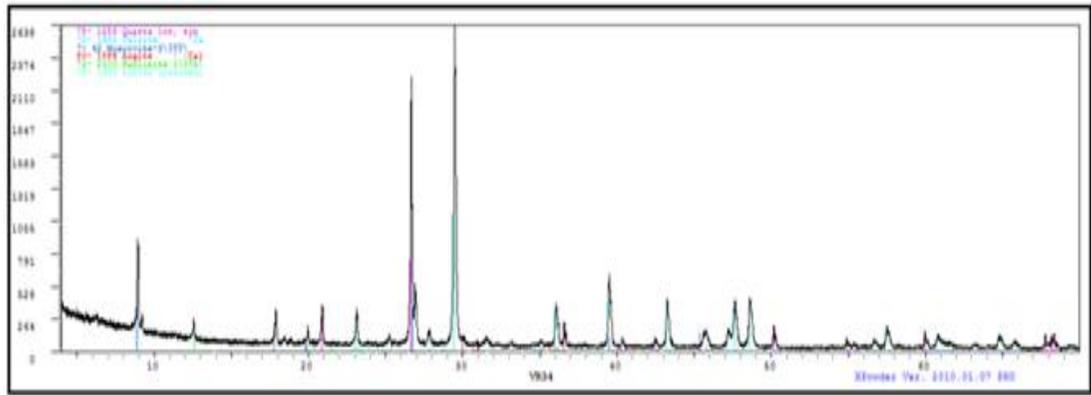
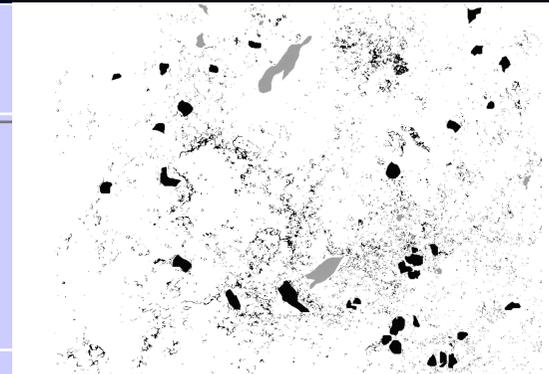
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-34	Nº Inventario	101	Localización	UE 75

Cronología	300 - 250 a. C.	Color	10YR 7/2 LIGTH GRAY	Naturaleza	Mortero
-------------------	-----------------	--------------	---------------------	-------------------	---------

Observaciones
Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, ALBITA, CAOLINITA, AUGITA



Material Constructivo

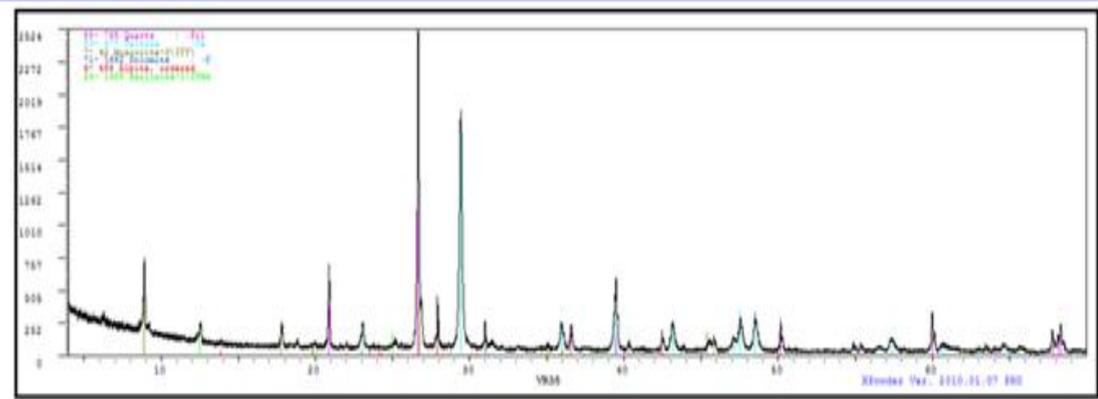
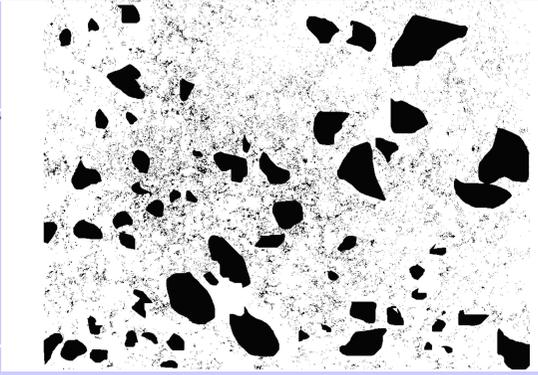
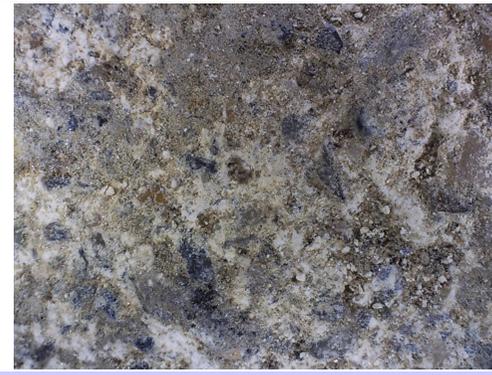
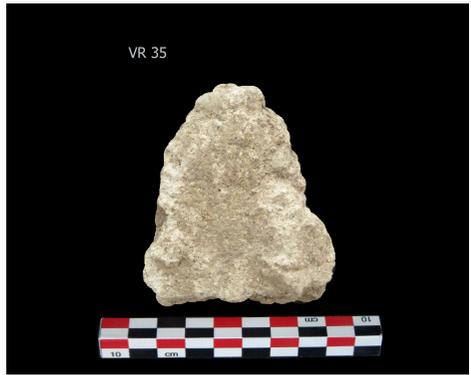
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-35	Nº Inventario	102	Localización	UE 74

Cronología	300 - 250 a. C.	Color	5YR 8/1 WHITE	Naturaleza	Mortero
-------------------	-----------------	--------------	---------------	-------------------	---------

Observaciones Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, CAOLINITA



Material Constructivo

Registros 123

Imagen

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

Buscar

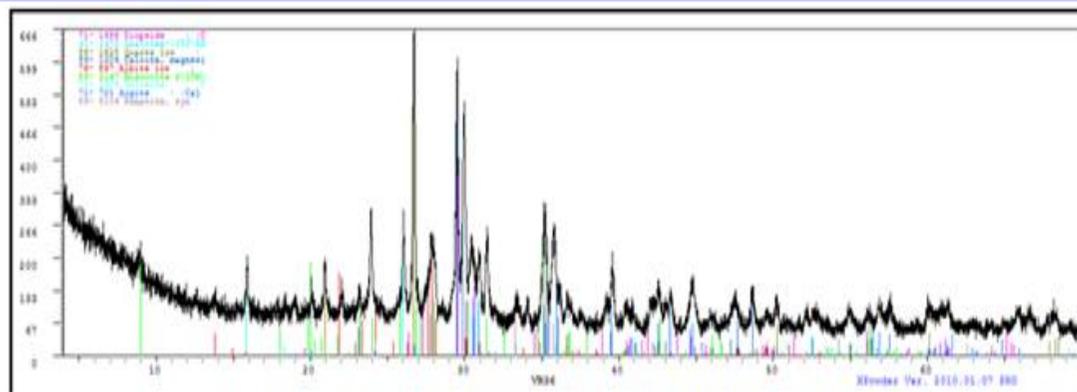
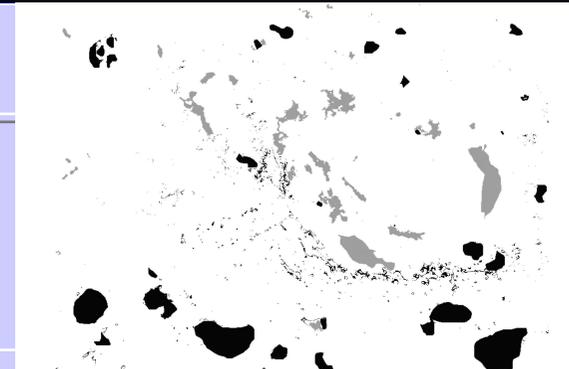
Imprimir

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-36	Nº Inventario	103	Localización	UE 74

Cronología	300 - 250 a. C.	Color	5YR 8/1 WHITE	Naturaleza	Mortero
------------	-----------------	-------	---------------	------------	---------

Observaciones

Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, ANALCIMA, DIÓPSIDO , AUGITA, HEMATITA



Material Constructivo

Registros 123

Imagen

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

Buscar

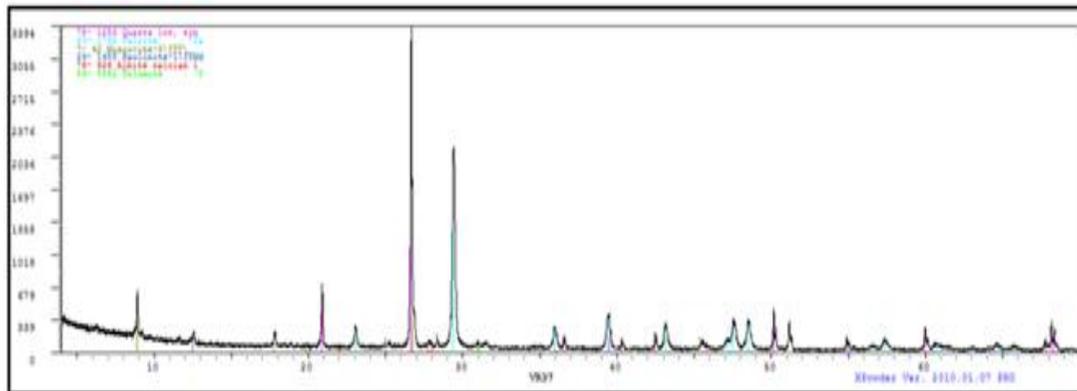
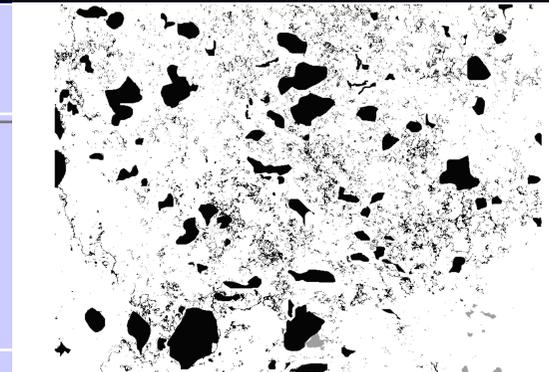
Imprimir

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-37	Nº Inventario	104	Localización	UE 40

Cronología	206 a. C.	Color	7.5YR 7/4 PINK	Naturaleza	Mortero
------------	-----------	-------	----------------	------------	---------

Observaciones

Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, CAOLINITA



Material Constructivo

Registros 123

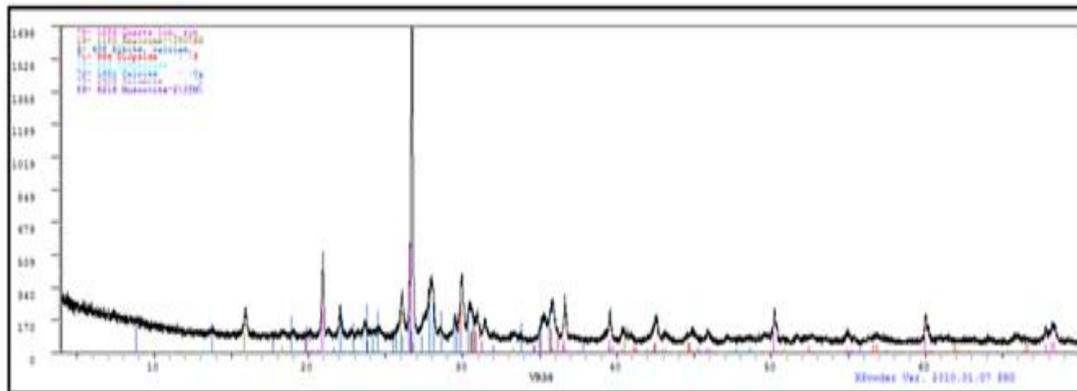
Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-38	Nº Inventario	105	Localización	UE 40

Cronología	206 a. C.	Color	7.5YR 8/3 PINK	Naturaleza	Mortero
-------------------	-----------	--------------	----------------	-------------------	---------

Observaciones

**Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, ANALCIMA, DIÓPSIDO, ORTOCLASA**



Material Constructivo

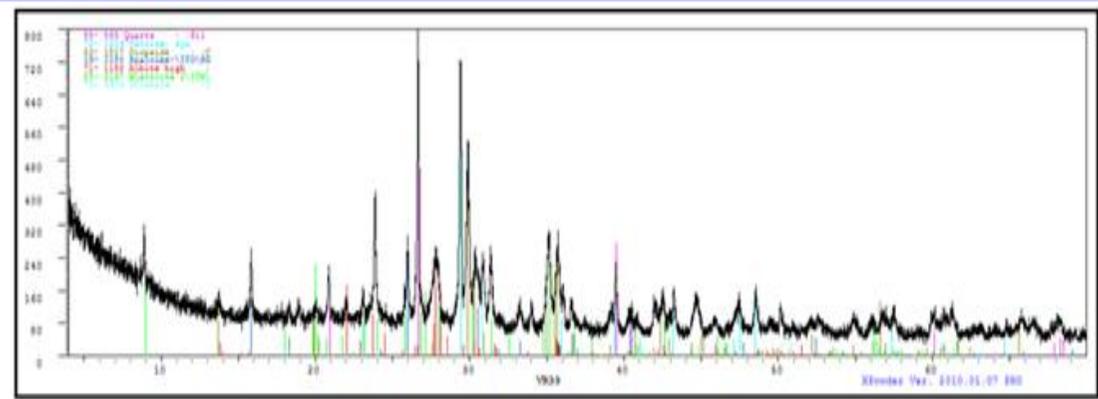
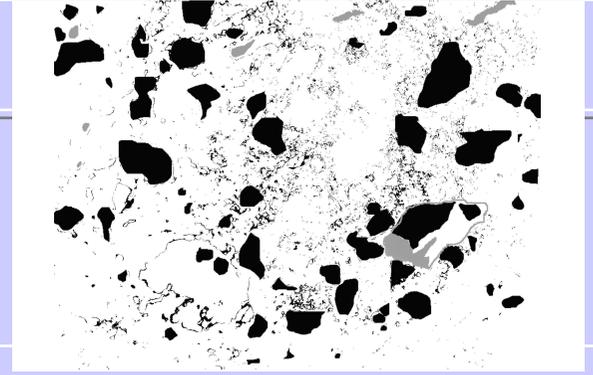
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶◀▶◀▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-39	Nº Inventario	106	Localización	UE 40

Cronología	600 - 550 a. C.	Color	10YR 8/2 VERY PALE BROWN	Naturaleza	Mortero
------------	-----------------	-------	--------------------------	------------	---------

Observaciones Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, ANALCIMA, DIÓPSIDO



Material Constructivo

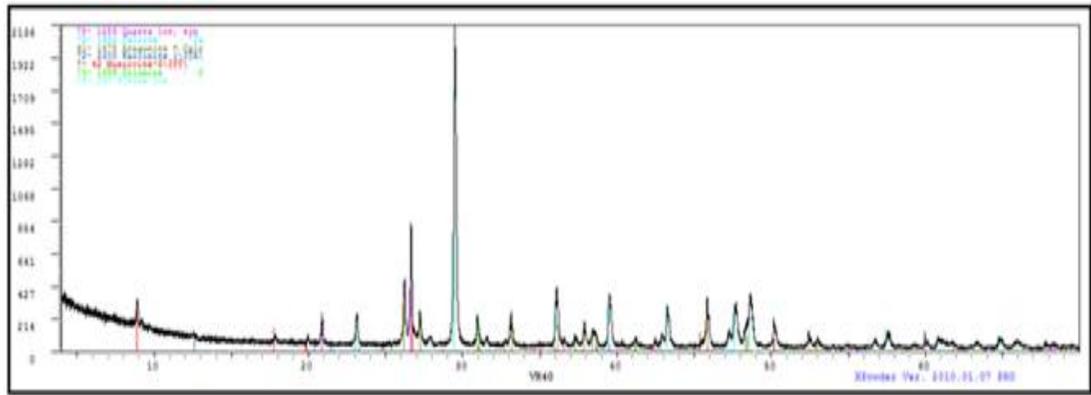
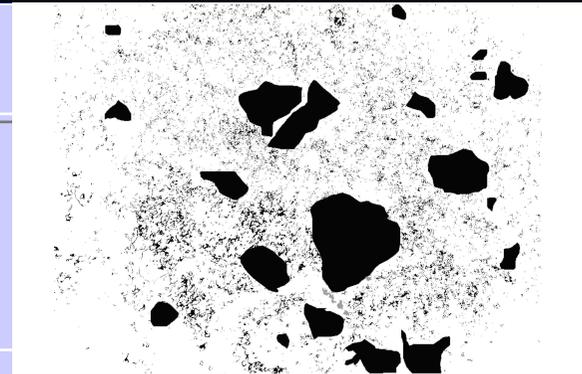
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Villaricos		
Siglado	VR-40	Nº Inventario	107	Localización	Superficie

Cronología	Indeterminada	Color	10YR 8/2 VERY PALE BROWN	Naturaleza	Mortero
-------------------	---------------	--------------	--------------------------	-------------------	---------

Observaciones Fragmento de mortero extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, ARAGONITO, CAOLINITA



Material Constructivo

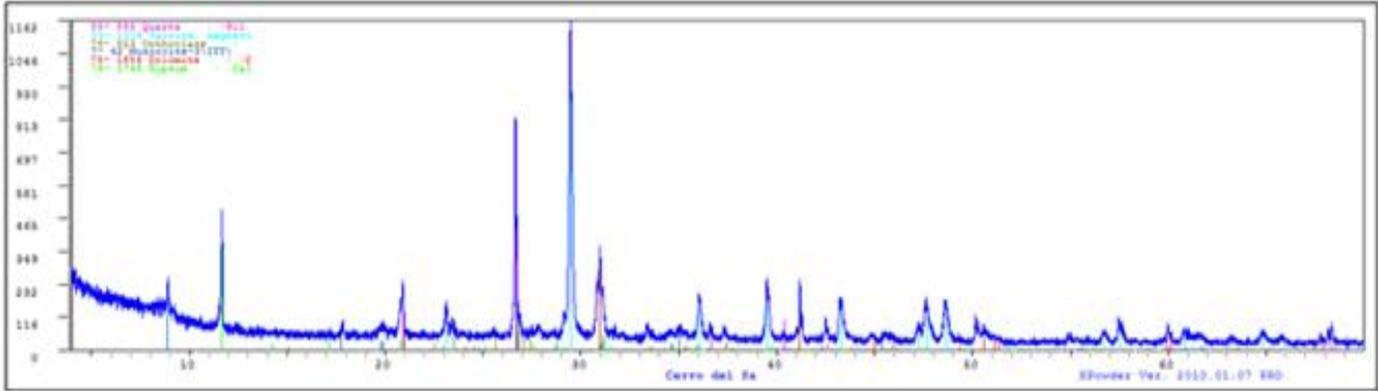
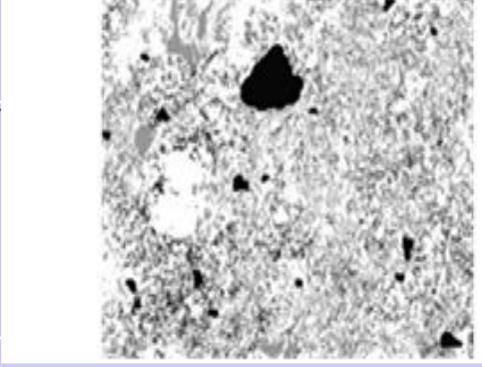
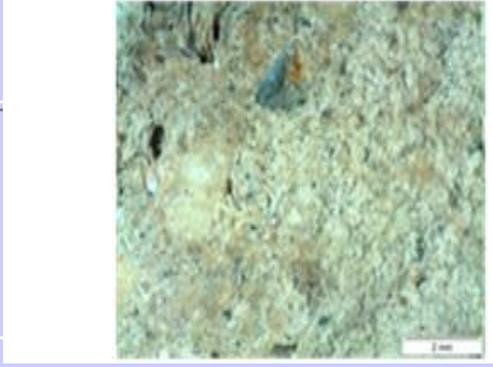
Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Cerro del Santuario		
Siglado	CST183-01	Nº Inventario	108	Localización	UE183017

Cronología	s.V/III a. C.	Color	5YR 7/2 PINKISH GRAY	Naturaleza	Adobe
-------------------	---------------	--------------	----------------------	-------------------	-------

Observaciones
Fragmento de adobe extraído de pieza de tamaño indeterminado
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ORTOCLASA, YESO



Material Constructivo

Registros 123

Imagen

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

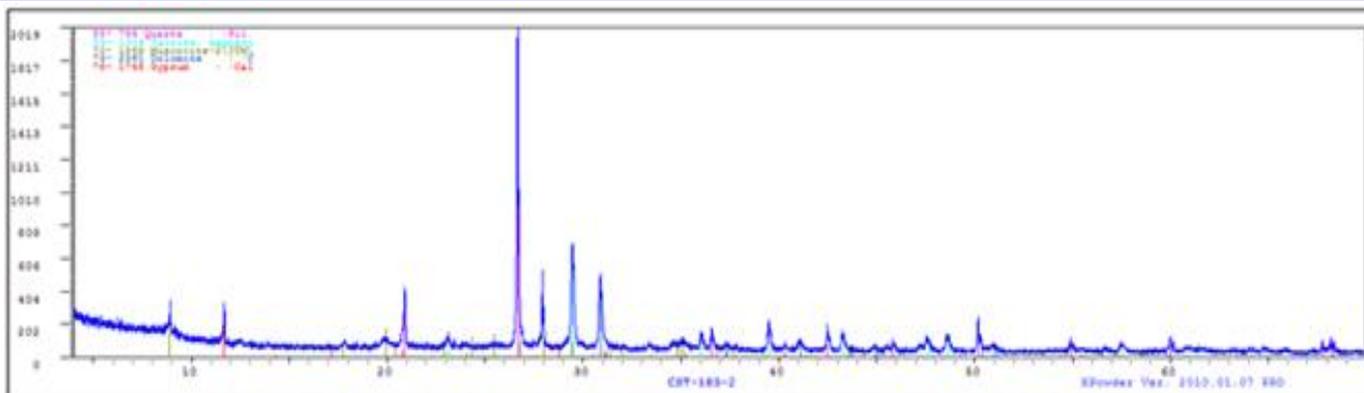
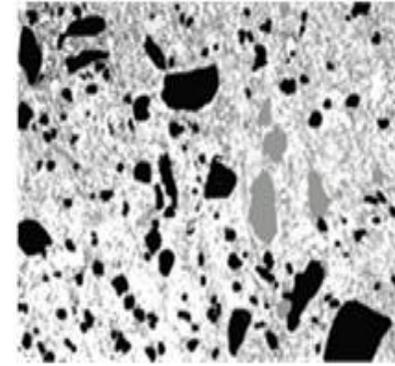
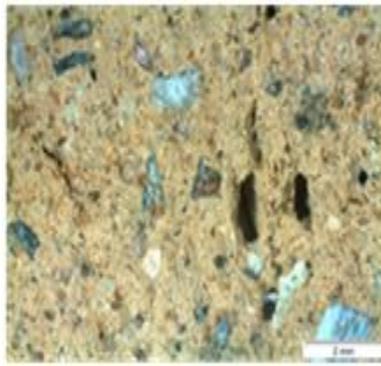
Buscar

Imprimir

Procedencia	Sur	Yacimiento	Cerro del Santuario		
Siglado	CST183-02	Nº Inventario	109	Localización	MR183035

Cronología	s.V/III a. C.	Color	5YR 6/2 LIGH REDDISH BROWN	Naturaleza	Adobe
-------------------	---------------	--------------	-------------------------------	-------------------	-------

Observaciones
Fragmento de adobe extraído de pieza de tamaño indeterminado
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, YESO



Material Constructivo

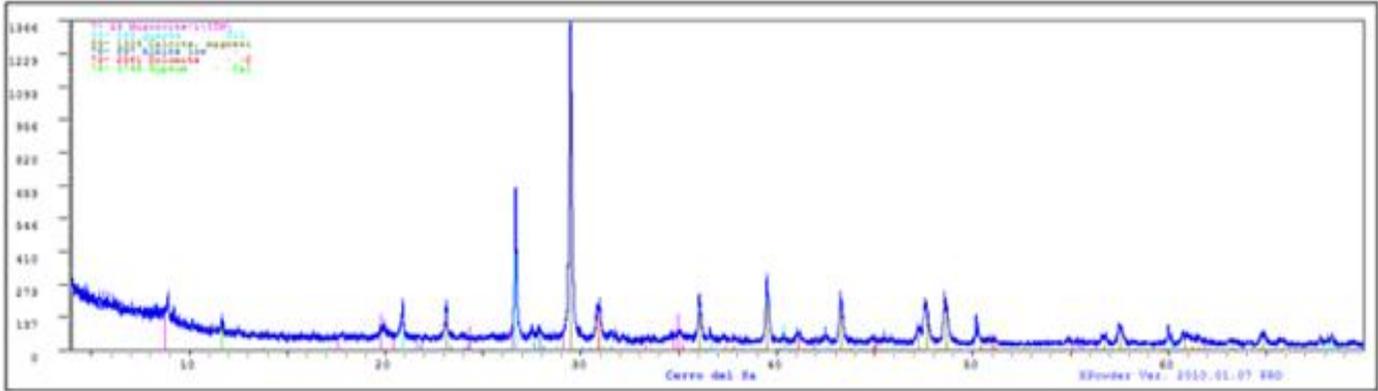
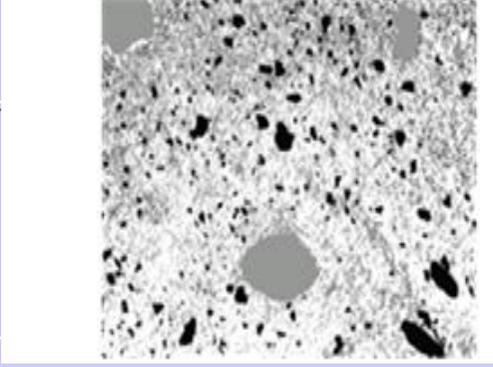
Registros 123

Imagen

Procedencia	Sur	Yacimiento	Cerro del Santuario		
Siglado	CST183-03	Nº Inventario	110	Localización	UE183010

Cronología	s.V/III a. C.	Color	10 YR 7/2 LIGHT GRAY	Naturaleza	Adobe
-------------------	---------------	--------------	----------------------	-------------------	-------

Observaciones
Fragmento de adobe extraído de pieza de tamaño indeterminado
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, YESO



Material Constructivo

Registros 123

Imagen

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

Buscar

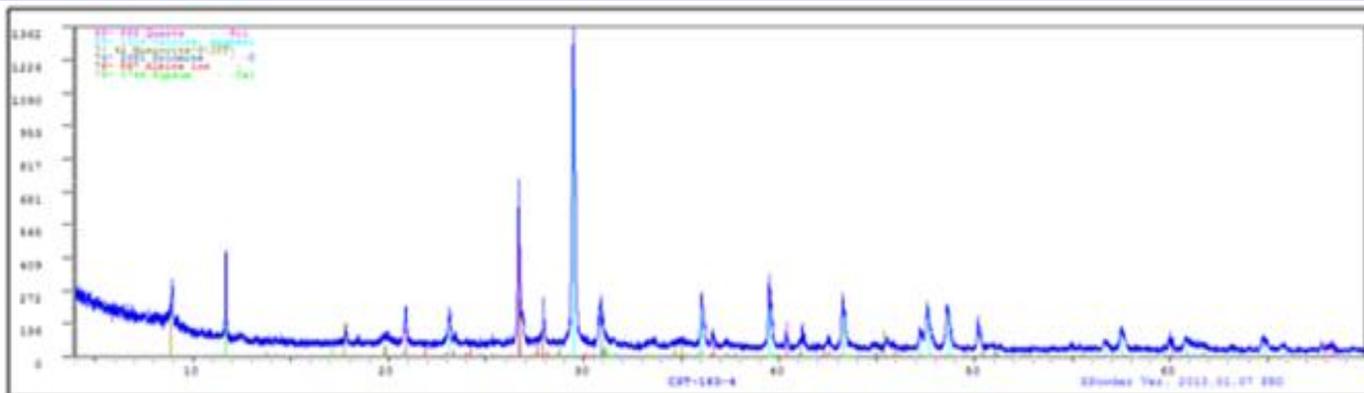
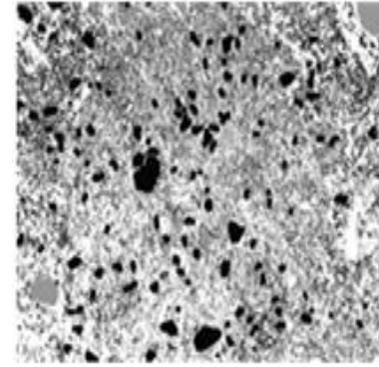
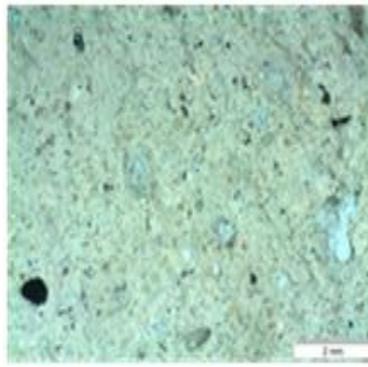
Imprimir

Procedencia	Sur	Yacimiento	Cerro del Santuario		
Siglado	CST183-04	Nº Inventario	111	Localización	UE183010

Cronología	s.V/III a. C.	Color	10 YR 7/2 LIGHT GRAY	Naturaleza	Adobe
-------------------	---------------	--------------	----------------------	-------------------	-------

Observaciones

Fragmento de adobe extraído de pieza de tamaño indeterminado
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, YESO



Material Constructivo

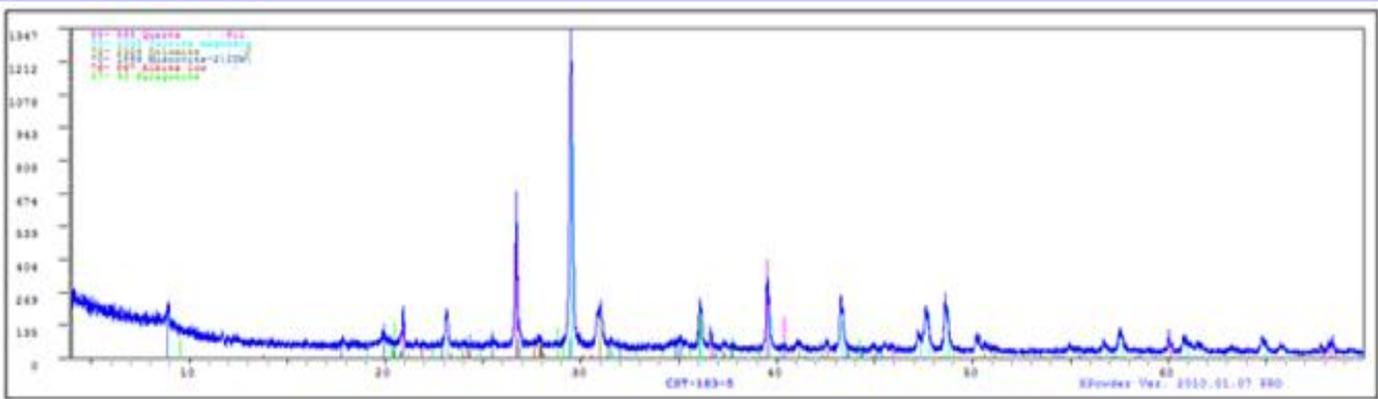
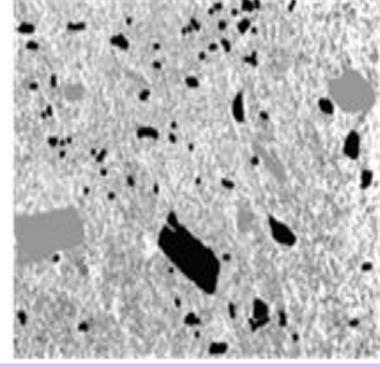
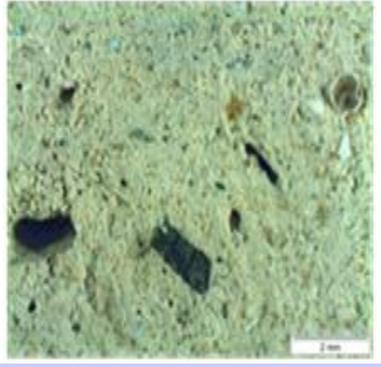
Registros 123

Imagen

Procedencia	Sur	Yacimiento	Cerro del Santuario		
Siglado	CST183-05	Nº Inventario	112	Localización	UE183010

Cronología	s.V/III a. C.	Color	10 7/3 VERY PALE BROWN	Naturaleza	Adobe
-------------------	---------------	--------------	------------------------	-------------------	-------

Observaciones
Fragmento de adobe extraído de pieza de tamaño indeterminado
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, PARAGONITA



Material Constructivo

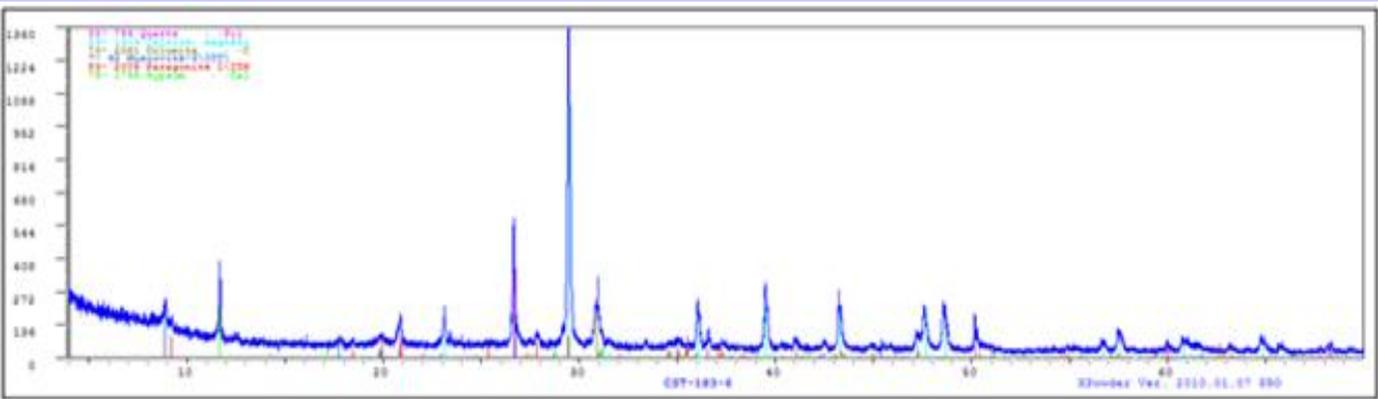
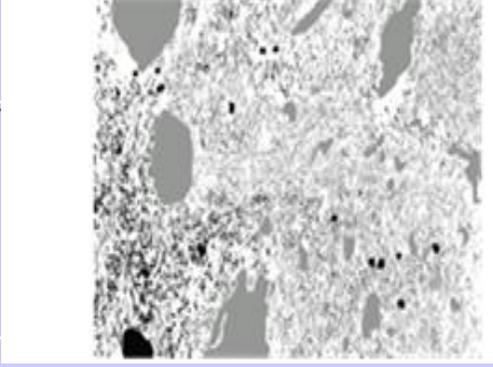
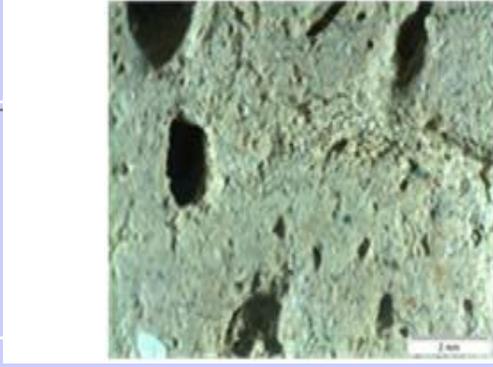
Registros 123

Imagen

Procedencia	Sur	Yacimiento	Cerro del Santuario		
Siglado	CST183-06	Nº Inventario	113	Localización	UE183010

Cronología	s. X /VII a. C.	Color	10 YR 7/2 LIGHT GRAY	Naturaleza	Adobe
-------------------	-----------------	--------------	----------------------	-------------------	-------

Observaciones
Fragmento de adobe extraído de pieza de tamaño indeterminado
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, YESO, PARAGONITA



Material Constructivo

Registros 123

Imagen

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

Buscar

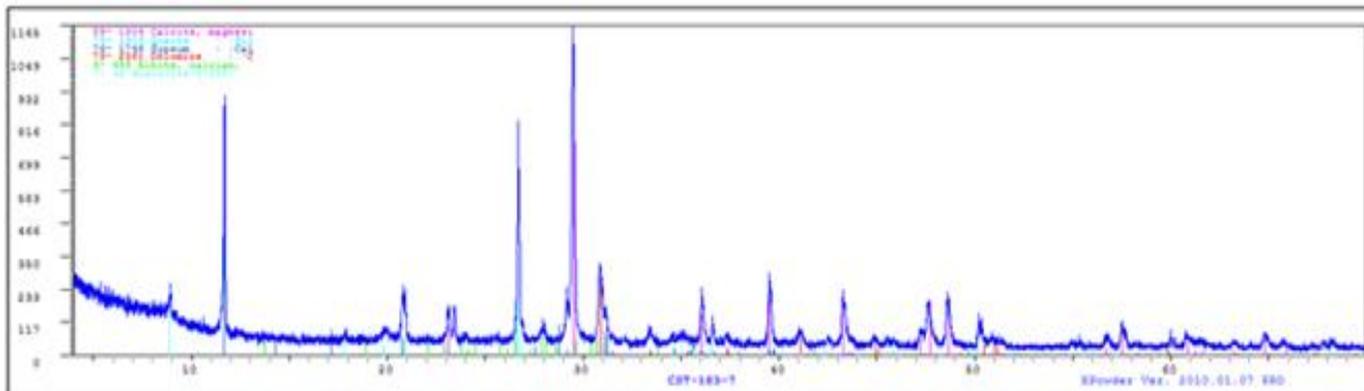
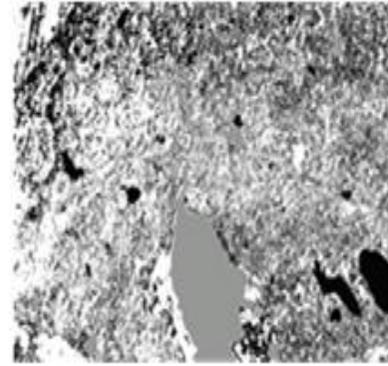
Imprimir

Procedencia	Sur	Yacimiento	Cerro del Santuario		
Siglado	CST183-07	Nº Inventario	114	Localización	UE183010

Cronología	s.V/III a. C.	Color	10 YR 7/2 LIGHT GRAY	Naturaleza	Adobe
-------------------	---------------	--------------	----------------------	-------------------	-------

Observaciones

Fragmento de adobe extraído de pieza de tamaño indeterminado
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, YESO



Material Constructivo

Registros 123

Imagen

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

Buscar

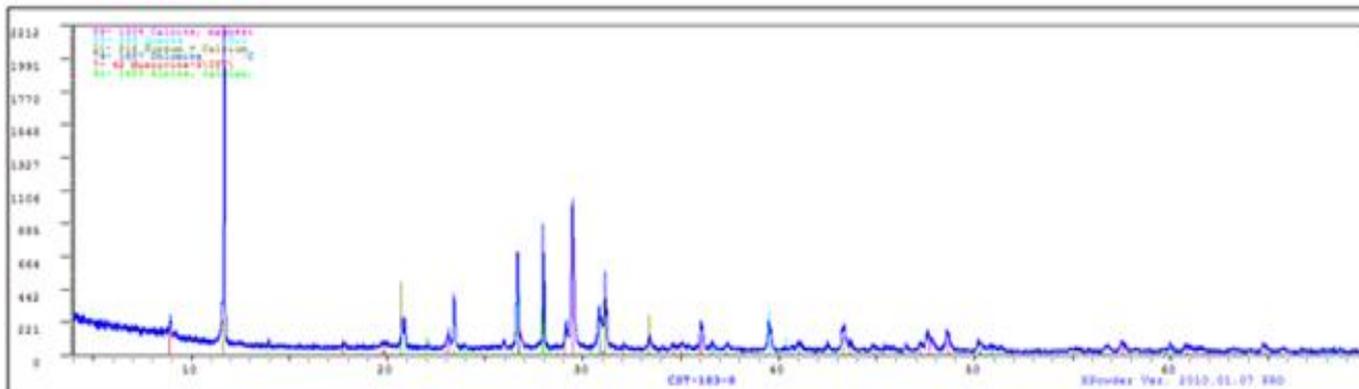
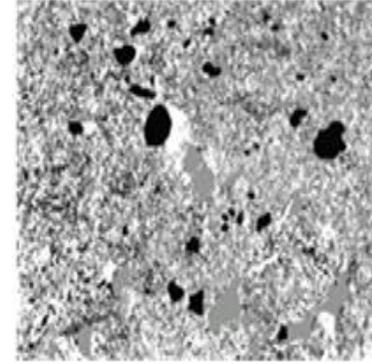
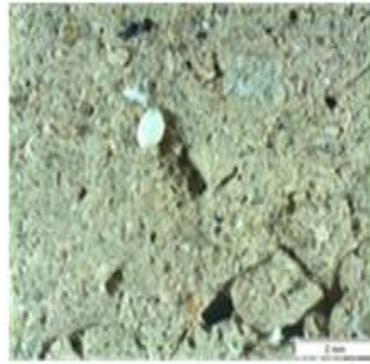
Imprimir

Procedencia	Sur	Yacimiento	Cerro del Santuario		
Siglado	CST183-08	Nº Inventario	115	Localización	MR183035

Cronología	s.V/III a. C.	Color	7.5YR 7/2 PINKISH GRAY	Naturaleza	Adobe
-------------------	---------------	--------------	------------------------	-------------------	-------

Observaciones

Fragmento de adobe extraído de pieza de tamaño indeterminado
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, YESO



Material Constructivo

Registros 123

Imagen

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

Buscar

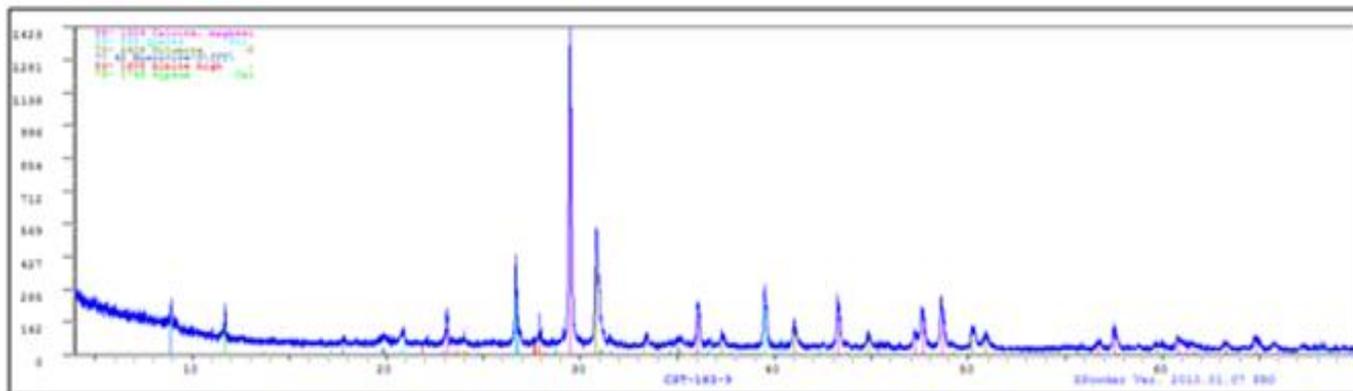
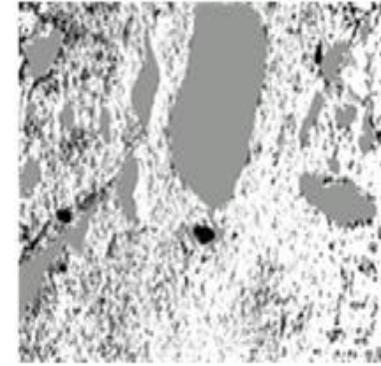
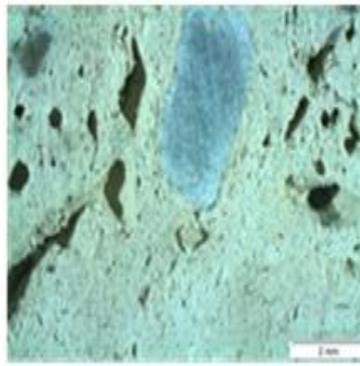
Imprimir

Procedencia	Sur	Yacimiento	Cerro del Santuario		
Siglado	CST183-09	Nº Inventario	116	Localización	UE183010

Cronología	s.V/III a. C.	Color	10UR 8/1 WHITE	Naturaleza	Adobe
-------------------	---------------	--------------	----------------	-------------------	-------

Observaciones

Fragmento de adobe extraído de pieza de tamaño indeterminado
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, YESO



Material Constructivo

Registros 123

Imagen

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

Buscar

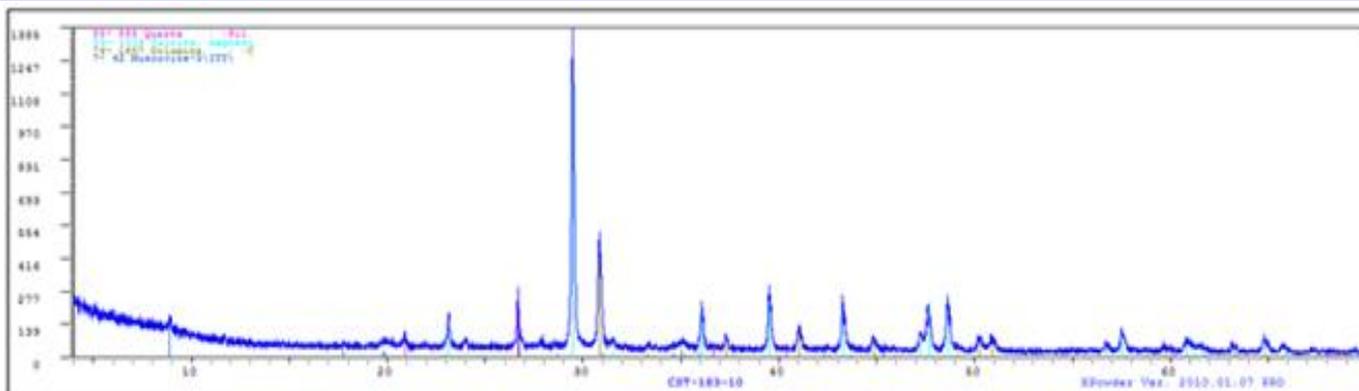
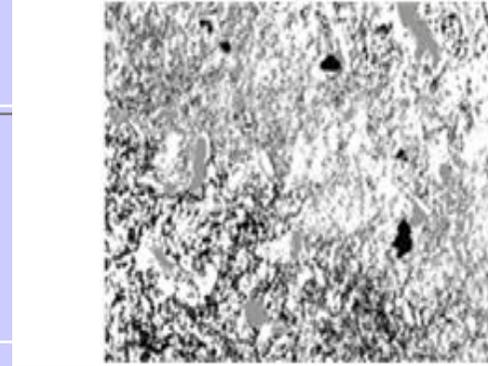
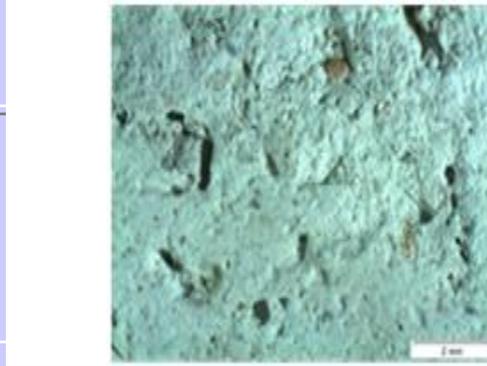
Imprimir

Procedencia	Sur	Yacimiento	Cerro del Santuario		
Siglado	CST183-10	Nº Inventario	117	Localización	UE183010

Cronología	s.V/III a. C.	Color	10YR 8/2 VERY PALE BROWN	Naturaleza	Adobe
-------------------	---------------	--------------	--------------------------	-------------------	-------

Observaciones

Fragmento de adobe extraído de pieza de tamaño indeterminado
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA



Material Constructivo

Registros 123

Imagen

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

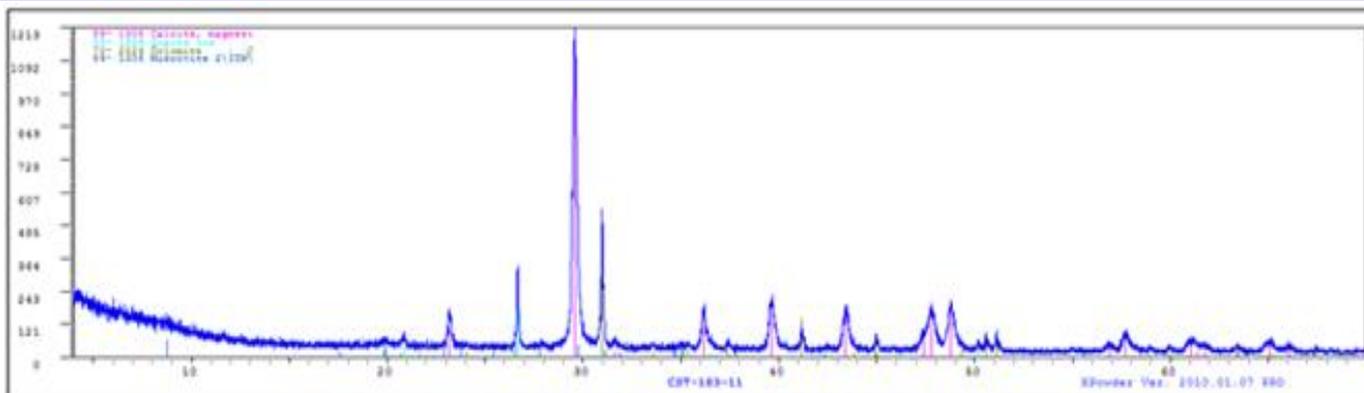
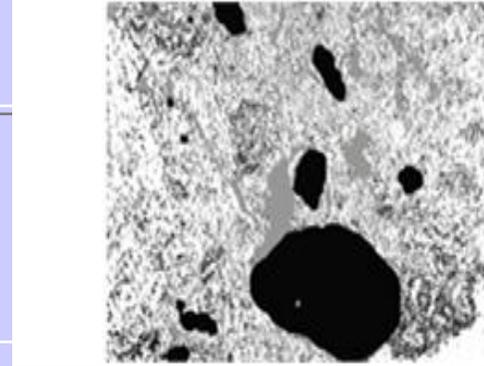
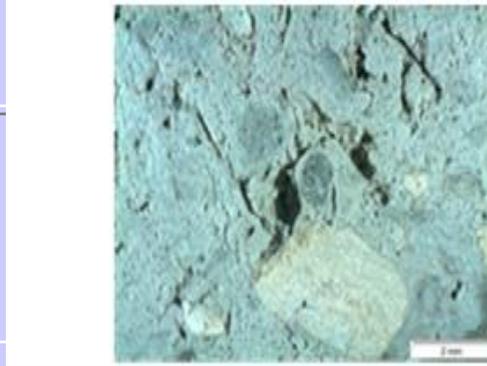
Buscar

Imprimir

Procedencia	Sur	Yacimiento	Cerro del Santuario		
Siglado	CST183-11	Nº Inventario	118	Localización	UE183017

Cronología	s.V/III a. C.	Color	5YR 7/2 PINKISH GRAY	Naturaleza	Adobe
-------------------	---------------	--------------	----------------------	-------------------	-------

Observaciones Fragmento de adobe extraído de pieza de tamaño indeterminado
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA



Material Constructivo

Registros 123

Imagen

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

Buscar

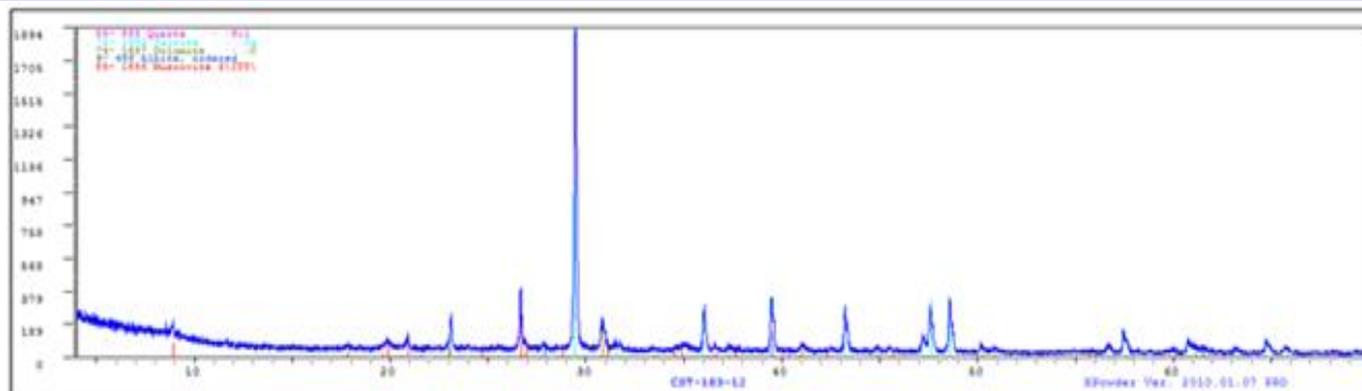
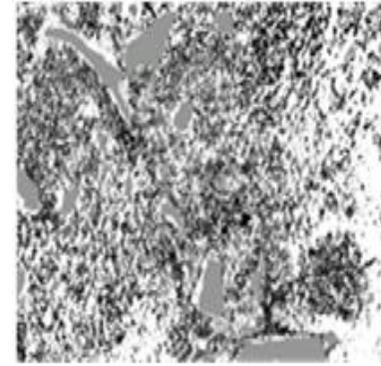
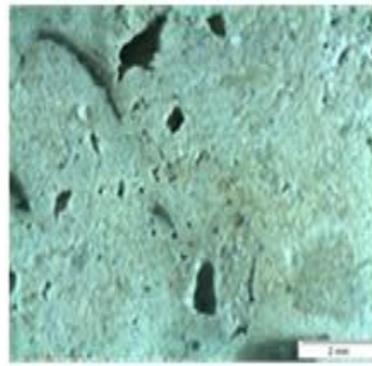
Imprimir

Procedencia	Sur	Yacimiento	Cerro del Santuario		
Siglado	CST183-12	Nº Inventario	119	Localización	MR103003

Cronología	s.V/III a. C.	Color	10YR 8/1 WHITE	Naturaleza	Adobe
-------------------	---------------	--------------	----------------	-------------------	-------

Observaciones

Fragmento de adobe extraído de pieza de tamaño indeterminado
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA



Material Constructivo

Registros 123

Imagen

Nuevo

Borrar

Todos

Ordenar

Buscar

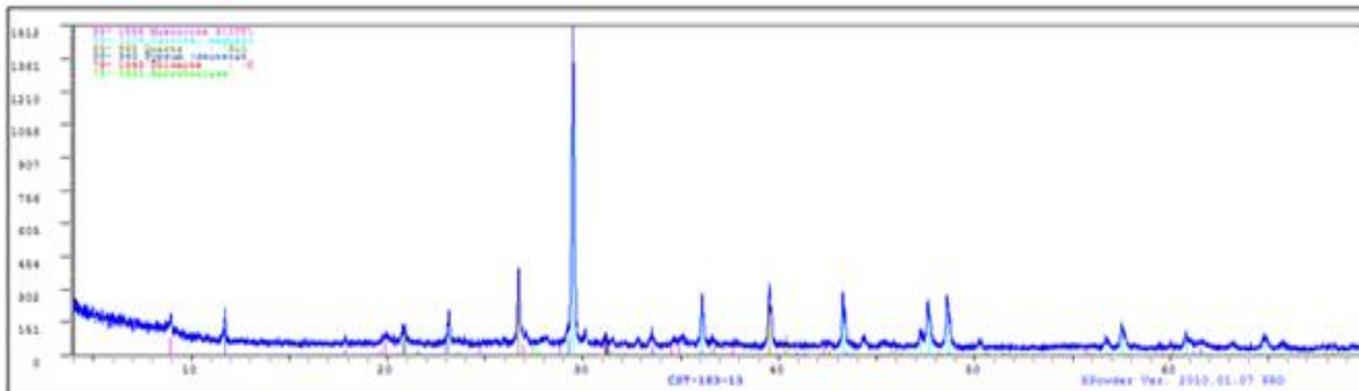
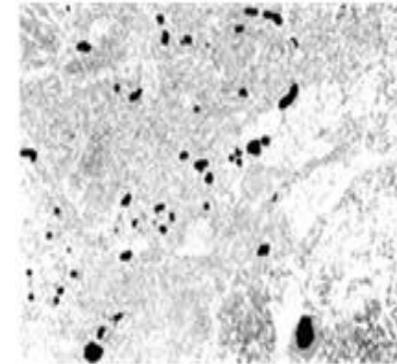
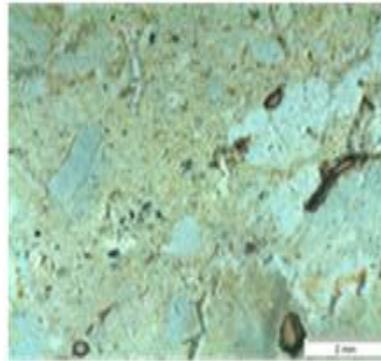
Imprimir

Procedencia	Sur	Yacimiento	Cerro del Santuario		
Siglado	CST183-13	Nº Inventario	120	Localización	Superficie

Cronología	s.V/III a. C.	Color	10YR 8/2 VERY PALE BROWN	Naturaleza	Tierra
-------------------	---------------	--------------	--------------------------	-------------------	--------

Observaciones

Fragmento de adobe extraído de pieza de tamaño indeterminado
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ANORTOCLASA, YESO



Material Constructivo

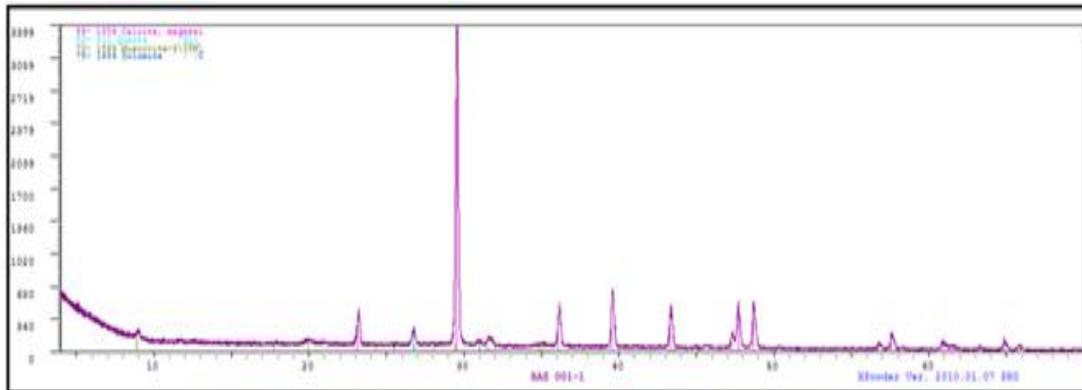
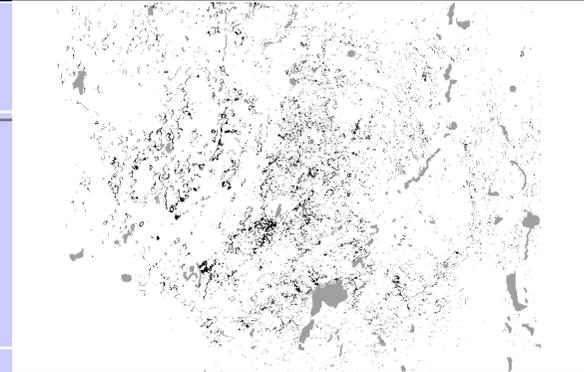
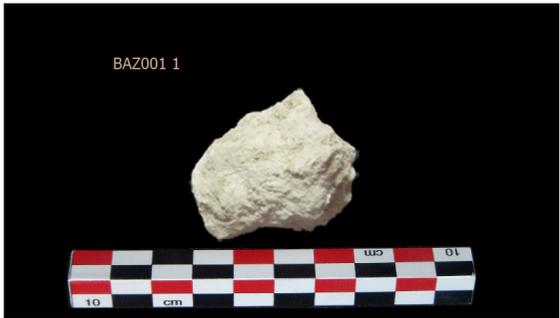
Registros 123

Imagen
◀▶◀▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Cerro Cepero		
Siglado	BAZ001-01	Nº Inventario	121	Localización	Indeterminada

Cronología	s. II a. C.	Color	10YR 8/1 WHITE	Naturaleza	Tierra
-------------------	-------------	--------------	-------------------	-------------------	--------

Observaciones
Fragmento de tierra.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA



Material Constructivo

Registros 123

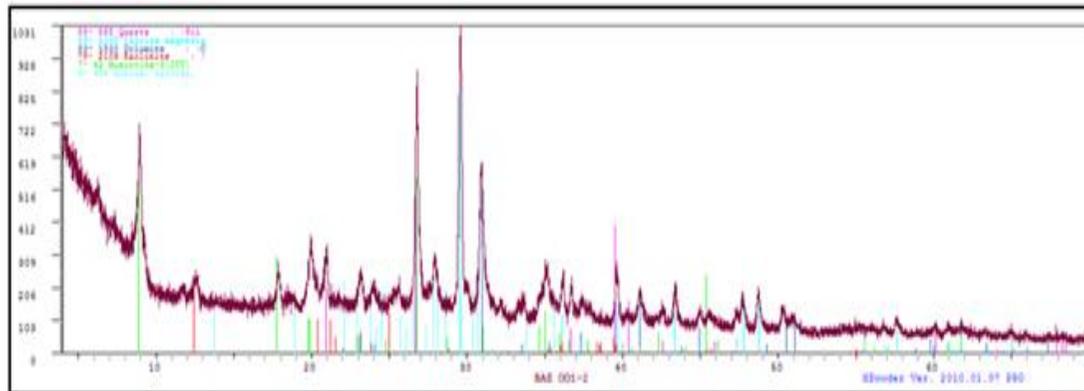
Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Cerro Cepero		
Siglado	BAZ001-02	Nº Inventario	122	Localización	Indeterminada

Cronología	s. II a. C.	Color	7.5YR 8/1 WHITE	Naturaleza	Adobe
------------	-------------	-------	--------------------	------------	-------

Observaciones

Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, CAOLINITA



Material Constructivo

Registros 123

Imagen
◀◀ ▶▶

Procedencia	Sur	Yacimiento	Cerro Cepero		
Siglado	BAZ001-03	Nº Inventario	123	Localización	Indeterminada

Cronología	s. II a. C.	Color	2.5Y 7/2 LIGTH GRAY	Naturaleza	Adobe
------------	-------------	-------	------------------------	------------	-------

Observaciones Fragmento de adobe extraído de pieza de dimensión indeterminada.
Minerales: CUARZO, CALCITA, MOSCOVITA, DOLOMITA, ALBITA, CAOLINITA, OLIVINO, YESO

